



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**  
**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**  
**ELÉCTRICA**



**“DISEÑO DE UN SEGUIDOR SOLAR EN DOS EJES PARA UN  
SISTEMA FOTOVOLTAICO DE 2 KW”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. JESUS ROBERT MAMANI PACHECO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*Dedico el siguiente proyecto a todas las familias que no tienen acceso a energía eléctrica estable y de calidad, a mi familia que siempre me apoyo a cumplir con mis sueños.*

*A la escuela profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica por inculcarme valores y la disciplina correspondiente para poder ejercer mi profesión con ímpetu y responsabilidad.*

*A mi Padre Julian Mamani Vilcanqui por apoyarme incondicionalmente en todo mi proceso académico.*

JESUS ROBERT MAMANI PACHECO



## AGRADECIMIENTOS

*Primeramente, agradecer a Dios y la Virgen por ayudarme a lograr mis metas, a mi familia que siempre estuvo conmigo desde mis inicios hasta la actualidad, amigos que no me abandonaron cuando me sentía solo y me dieron ánimos para no fallar.*



## ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

### **CAPÍTULO I**

#### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... 17**

**1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 17**

**1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA ..... 20**

1.3.1 Problema general ..... 20

1.3.2 Problemas específicos ..... 20

**1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA ..... 21**

**1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 21**

1.5.1 Objetivo general..... 21

1.5.2 Objetivos específicos ..... 21

1.5.3 Caracterización del área de investigación..... 21

1.5.4 Ubicación geográfica ..... 21

### **CAPITULO II**

#### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 SUSTENTO TEÓRICO..... 22**



2.1.1	Sistemas de seguimiento solar .....	22
2.1.2	Existen tres tipos de seguidores solares .....	22
2.1.3	Accionamiento de giro de doble eje .....	23
2.1.4	Ventajas de los seguidores solares .....	24
2.1.5	Comparación de energía .....	25
2.1.6	La generación de energía comparación entre eje doble sistema de seguimiento solar fija y sistema solar .....	26
<b>2.2</b>	<b>LA ESTRUCTURA DEL PANEL .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3</b>	<b>EL CONTROLADOR.....</b>	<b>27</b>
2.3.1	El controlador lógico programable. ....	28
<b>2.4</b>	<b>SENSORES .....</b>	<b>29</b>
<b>2.5</b>	<b>ACTUADORES.....</b>	<b>30</b>
2.5.1	Motores paso a paso.....	31
2.5.2	Actuadores lineales .....	32
2.5.3	Actuadores eléctricos en ángulo recto o en forma de "I" .....	33
2.5.4	Actuadores eléctricos paralelos .....	33
<b>2.6</b>	<b>REDUCTOR DE SINFÍN CORONA .....</b>	<b>34</b>
<b>2.7</b>	<b>COJINETES Y RODAMIENTOS.....</b>	<b>34</b>
2.7.1	Cojinetes de deslizamiento o de fricción .....	35
2.7.2	Cojinetes de rodadura o rodamientos.....	36
2.7.4	Ventajas: .....	37
2.7.5	Desventajas: .....	37
<b>2.8</b>	<b>RODAMIENTO DE GIRO .....</b>	<b>37</b>
<b>2.9</b>	<b>ENGRANE EN EJES CONCURRENTES .....</b>	<b>38</b>
<b>2.10</b>	<b>UNIDAD DE GIRO .....</b>	<b>39</b>



<b>2.11 ACCESORIOS E INSTRUMENTOS .....</b>	<b>39</b>
2.11.1 Anemómetro .....	39
2.11.2 Caja del dispositivo de control.....	40
2.11.3 Interface .....	41
<b>2.12 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE       SEGUIMIENTO SOLAR .....</b>	<b>41</b>
2.12.1 Esquema de un eje .....	42
2.12.2 Esquema de doble eje .....	43
<b>2.13 EFICIENCIA DE LA CELDA SOLAR.....</b>	<b>43</b>
<b>2.14 COORDENADAS DEL SOL EN EL HEMISFERIO .....</b>	<b>46</b>
2.14.1 Las coordenadas celestes .....	46
2.14.2 La carta solar.....	47
<b>2.15 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>48</b>
2.15.1 Hipótesis general.....	48
2.15.2 Hipótesis específicas.....	48
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>	
<b>3.1 METODOLOGÍA .....</b>	<b>49</b>
3.1.1 La constante solar .....	53
3.1.2 Número de paneles fotovoltaicos.....	54
3.1.3 Disposición de los paneles fv.....	54
3.1.4 Peso de la estructura del módulo .....	55
3.1.5 Análisis de los esfuerzos en la estructura .....	58



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1 RESULTADOS.....</b>	<b>69</b>
4.1.1 Bloque eléctrico .....	70
4.1.2 Bloque mecánico.....	70
4.1.3 Ubicación de los paneles solares en el tablero.....	71
<b>4.2 DISCUSIÓN.....</b>	<b>77</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>VII. REFERENCIAS.....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>

**ÁREA :** Energía Renovables

**TEMA:** Diseño de un seguidor solar en dos ejes para un sistema fotovoltaico de 2 kw

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 08 de junio del 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Seguidor solar de un eje. Seguidor solar de dos ejes.....	23
<b>Figura 2:</b>	Seguimiento solar .....	23
<b>Figura 3:</b>	Grados de libertad de un seguidor solar de doble eje .....	25
<b>Figura 4:</b>	Comparación de Energía captada con y sin seguidor solar. ....	25
<b>Figura 5:</b>	Estructura del panel que soporta las células fotovoltaicas. ....	27
<b>Figura 6:</b>	PLC nano, PLC, PLC modular .....	28
<b>Figura 7:</b>	Sensor solar .....	29
<b>Figura 8:</b>	Rastreador solar de dos ejes.....	30
<b>Figura 9:</b>	Motor de corriente continua .....	30
<b>Figura 10:</b>	Motores paso a paso .....	32
<b>Figura 11:</b>	Actuador eléctrico en “L” .....	33
<b>Figura 12:</b>	Actuador eléctrico en eje paralelo .....	34
<b>Figura 13:</b>	Sistema de reducción sinfín a corona. ....	34
<b>Figura 14:</b>	Cojinete de deslizamiento o de fricción. ....	35
<b>Figura 15:</b>	Diferentes tipos de cojinetes.....	36
<b>Figura 16:</b>	Cojinete axial, cojinete radial, cojinete de empuje.....	36
<b>Figura 17:</b>	Rodamiento con eje sinfín incluido.....	38
<b>Figura 18:</b>	Engranajes de ejes concurrentes.....	38
<b>Figura 19:</b>	Unidad de giro (rodamiento y motor).....	39
<b>Figura 20:</b>	Anemómetro con conexión a salida de PC.....	40
<b>Figura 21:</b>	Caja de control con grado de protección IP.....	40
<b>Figura 22:</b>	Cable de interface puerto USB. RS232 .....	41
<b>Figura 23:</b>	Esquema básico del seguidor solar.....	42
<b>Figura 24:</b>	Esquema del circuito electrónico de control del seguidor solar de un eje. ....	42





<b>Figura 25:</b> Esquema del circuito electrónico de control del seguidor solar de dos ejes de baja potencia. ....	43
<b>Figura 26:</b> Eficiencias de células solares según la tecnología.....	44
<b>Figura 27:</b> Geometría solar.....	47
<b>Figura 28:</b> Carta estereográfica y carta cilíndrica respectivamente .....	47
<b>Figura 29:</b> Curva característica Corriente (A) – Voltage (v) .....	51
<b>Figura 30:</b> Curva característica Potencia (W) – Voltage (v).....	51
<b>Figura 31:</b> Curva característica Temperatura -Corriente (A) – Voltage (v).....	52
<b>Figura 32:</b> Dimensiones del panel fotovoltaico .....	52
<b>Figura 33:</b> Disposición de los paneles FV en el tablero.....	54
<b>Figura 34:</b> Detalle de perfil tipo “L” de aluminio .....	55
<b>Figura 35:</b> Vista en perfil .....	56
<b>Figura 36:</b> Disposición del travesaño medio. 2 perfiles y 1 tubo de 50 mm $\varnothing$ .....	56
<b>Figura 37:</b> Estructura del panel sobre un eje cilíndrico.....	58
<b>Figura 38:</b> Esfuerzos en la estructura .....	59
<b>Figura 39:</b> Movimiento en el eje vertical .....	59
<b>Figura 40:</b> Eje del motor o husillo. ....	60
<b>Figura 41:</b> Vista de perfil y frontal del tablero y sus esfuerzos. ....	60
<b>Figura 42:</b> Análisis de esfuerzos en el eje vertical,.....	60
<b>Figura 43:</b> Esfuerzos en el eje horizontal.....	61
<b>Figura 44:</b> Estructura con el eje de giro horizontal .....	62
<b>Figura 45:</b> Soporte de la estructura para el giro horizontal.....	63
<b>Figura 46:</b> Rodamiento con dientes helicoidales .....	65
<b>Figura 47:</b> Rodamiento de giro con eje sinfín incluido.....	66
<b>Figura 48:</b> Motor y caja de reducción y multiplicador de torque.....	66



<b>Figura 49:</b> Bloque de control .....	67
<b>Figura 50:</b> Interface USB a puerto rs232, para comunicar el PLC . .....	68
<b>Figura 51:</b> Disposición de los paneles fotovoltaicos.....	71
<b>Figura 52:</b> Soporte para el eje acimutal.....	71
<b>Figura 53:</b> Detalle del perfil del soporte acimutal (movimiento vertical).....	72
<b>Figura 54:</b> Detalle de la disposición de los perfiles y el tubo .....	72
<b>Figura 55:</b> Tipo de material usado y soporte.....	73
<b>Figura 56:</b> Esquema de un rodamiento con su motor de control .....	73
<b>Figura 57:</b> Detalle soporte del eje horizontal. ....	74
<b>Figura 58:</b> Detalle de la instalación del motor y soporte del giro horizontal.....	74
<b>Figura 59:</b> Detalle del soporte del motor.....	75
<b>Figura 60:</b> Disposición final de la instalación del motor del movimiento vertical .....	75
<b>Figura 61:</b> Detalle del rodamiento de giro del parante vertical.....	76
<b>Figura 62:</b> Esquema final del funcionamiento del seguidor solar.....	77



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Sistemas de seguidores solares existentes en el mercado .....	24
<b>Tabla 2:</b> Datos tomados con paneles fijos y paneles de doble eje.....	26
<b>Tabla 3:</b> De los 10 Paneles Solares más eficientes que existen en el mercado .....	45
<b>Tabla 4:</b> Medidas de varillas angulares de aluminio, espesor 1.8 mm.....	55
<b>Tabla 5:</b> Diámetros de tubos de aluminio 4.1x4.1 mm x 2.3mm .....	57



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>DC :</b>	Corriente Directa
<b>FV :</b>	Fotovoltaico
<b>VOC :</b>	Circuito Abierto de Voltaje
<b>PWM :</b>	Pulse Width Modulation (Modulación por ancho de pulso)
<b>MPPT :</b>	Maximum Power Point Tracking (Seguidor del punto de máxima potencia)
<b>CC :</b>	Corriente Continua
<b>SENAMHI :</b>	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
<b>ASTM :</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales
<b>RPM :</b>	Revolución Por Minuto
<b>EDA :</b>	Automatización del diseño electrónico
<b>PCB :</b>	Placa de Circuito Impreso
<b>FAO :</b>	Fabricación asistida por ordenador
<b>CPU :</b>	Unidad central de procesamiento
<b>TRAU :</b>	Transmisor-Receptor Asíncrono Universal
<b>CAD :</b>	Conversión Analógica-Digital
<b>GPIO :</b>	Entrada/Salida de Propósito General
<b>LCD :</b>	Pantalla de cristal líquido
<b>SCL :</b>	Bibliotecas de código fuente
<b>TTL :</b>	lógica transistor a transistor



## RESUMEN

El problema de la utilización de las celdas fotovoltaicas; es que requieren un área de utilización; que en las zonas urbanas; son muy escasas; lo que obliga a buscar soluciones que eleven la eficiencia de las áreas de utilización. El avance de esta tecnología es cada vez más difundido y eso ha hecho que los componentes sean más económicos. El estudio plantea la posibilidad de diseñar una estructura mecánica sólida, que pueda servir para el soporte de un conjunto de paneles fotovoltaicos, de hasta una potencia de 2Kw; potencia que tiene un alcance significativo para surtir de energía eléctrica; y que se puede optimizar mediante un seguidor solar en dos ejes. La metodología utilizada es realizar el diseño de un seguidor solar para aprovechar la máxima incidencia solar que eleve hasta su máximo la potencia y se pueda aprovechar mejor el área utilizada. Además; se concluye que el diseño del seguidor solar en dos sentidos: vertical y horizontal es bastante flexible en su montaje, lo que lo hace diferente a otros similares.

**Palabras claves:** Diseño, seguidor solar, dos ejes, fotovoltaico, actuadores, sensores.



## ABSTRACT

The problem of the use of photovoltaic cells; is that they require an area of use; than in urban areas; they are very rare; This makes it necessary to look for solutions that increase the efficiency of the areas of use. The advancement of this technology is increasingly widespread and that has made the components more economical. The study raises the possibility of designing a solid mechanical structure, which can be used to support a set of photovoltaic panels, up to a power of 2Kw; power that has a significant scope to supply electrical energy; and that can be optimized by means of a solar tracker in two axes. The methodology used is to design a solar tracker to take advantage of the maximum solar incidence that raises the power to its maximum and makes better use of the area used. What's more; It is concluded that the design of the solar tracker in two directions: vertical and horizontal is quite flexible in its assembly, which makes it different from other similar ones.

**Keywords:** Design, solar tracker, two axes, photovoltaic, actuators, sensors.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El sol libera gran cantidad de partículas de energía, entre ellas los fotones, los cuales son necesarios para generar la energía solar fotovoltaica. La palabra "foto" significa luz y la palabra "voltaico" significa voltaje o electricidad.

El panel solar convierte la luz del sol en electricidad gracias a una reacción eléctrica que se produce en las células de silicio del panel cuando chocan en ellas los fotones de la luz solar.

Cuando la capa negativa de silicio se expone orientada al sol, los fotones chocan contra ella liberando una gran cantidad de electrones. Estos electrones se dirigirán a cubrir los espacios presentes en la capa de silicio positiva, generándose así una corriente eléctrica entre ambas capas de cargas opuestas.

Por sí sola una célula solar produce poca energía, pero muchas células unidas entre ellas mediante un hilo conductor pueden llegar a producir mucha energía. La unión entre paneles aún generará más energía suficiente para cubrir grandes consumos eléctricos.

Ante las constantes subidas de precios de los combustibles fósiles, la energía solar es la alternativa más eficiente y limpia para dar respuesta a las necesidades eléctricas de ahora en adelante.

El avance de la tecnología en energías fotovoltaica, está cada vez más en aumento, y eso ha hecho que los componentes sean cada vez más económicos, lo que plantea la posibilidad de realizar nuevos diseños que puedan ser utilizados en diferentes aplicaciones para el desarrollo de las poblaciones o pequeñas industrias.

El presente estudio plantea la posibilidad de diseñar una estructura mecánica sólida, que pueda servir para el soporte de un conjunto de paneles fotovoltaicos, de hasta



una potencia de 2Kw y tener la capacidad de realizar el seguimiento solar respectivo, para aprovechar la máxima incidencia; potencia suficiente, como para servir para el funcionamiento de sistemas de bombeo para centros poblados alejados, postas médicas, etc.

Los seguidores solares, existen de un eje y de dos ejes, porque así realizan el seguimiento solar en dos sentidos: vertical y horizontal; y tienden a aumentar el rendimiento energético del panel solar.

Aunque ya existen estos tipos de seguidor solar, no son implementados para una instalación más grande, porque existía ciertas limitantes en cuanto a los dispositivos motrices disponibles en el mercado; pero con la mejora de tecnologías en cuanto al torque de motores eléctricos con relación a su tamaño; la reducción de los procesadores controladores, hace posible la propuesta de este diseño que utiliza motores eléctricos de potencia, controlados por un procesador digital y monitoreados por sensores.

Un seguidor solar, debe tener la capacidad de seguir la trayectoria del sol mientras diariamente se mueve por la bóveda celeste, para lo que debe implementarse de un sistema de sensores que calculan el Angulo de azimut y de elevación necesario, y “ordenan” a los actuadores compuestos por motores eléctricos, que posicionan en forma automática en el punto de máxima irradiación solar, esta acción se realiza automáticamente durante todas las horas de sol del día; teniendo el aumento de la eficiencia de la potencia eléctrica generada por una batería de paneles solares.

En el capítulo de metodología, se presenta el cálculo mecánico y un cálculo eléctrico de cada uno de sus componentes, para plasmarlo en el capítulo de resultados en el diseño final.





## 1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La propagación de la utilización de las energías renovables; concretamente la energía eléctrica producida por celdas fotovoltaicas, y que en los últimos años se ha incrementado su uso, Por el abaratamiento de su producción: que está haciendo que instituciones particulares opten por el sistema de energía eléctrica solar. Eso también requiere un área más extensa y general el problema que la celdas solares ocupan un área de terreno extenso: en las zonas rurales no son problema porque tienen el espacio necesario, pero en las áreas urbanas el área de terreno es muy costoso y además las celdas solares pierden eficiencia cuando no están orientadas al sol por su incidencia que muy baja. La utilización de seguidores solares actualmente esta en el rango de subir la eficiencia de las celdas fotovoltaicas hasta cerca de 25% (Pelayo,2017) según la Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas. Pelayo López Jorge Arturo (2017)

Una solución a este problema es utilizar paneles donde se colóquen las celdas fotovoltaicas y además se monte sobre un sistema de seguimiento solar aumentando la producción de energía, eficiencia y ocupando menos espacio.

El planteamiento del presente trabajo es diseñar un seguidor solar en dos ejes para la zona del altiplano de Puno y pueda mejorar el rendimiento de los paneles fotovoltaicos, que ya están en uso en la región.

## 1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En el trabajo de investigación; “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico”, presentan un diseño y construcción de un sistema de seguimiento autónomo y capaz de seguir el movimiento de sol, el cual se acoplo a un panel fotovoltaico para mejorar la eficiencia en la captura de energía. Se evaluó el funcionamiento del dispositivo en términos energéticos, se realizaron tres pruebas de evaluación programándolo para que se oriente al sol a cada 60, 30 y 5 min, y



se compararon los resultados con el rendimiento energético de un panel fotovoltaico fijo. El software desarrollado fue funcional para la totalidad del territorio de la República Mexicana y durante todo el año. El mejor rendimiento energético se obtuvo cuando el seguidor solar se orientó al sol cada 60 min, la energía generada fue de 27.98% más respecto al panel fijo, con un gasto energético para su funcionamiento de 1.3% de la ganancia final de energía. Comparando la producción de energía del sistema con la radiación solar global (ISR, por sus siglas en inglés), éste aprovechó 13.27% de la energía disponible, y 2.93% más respecto al panel fijo. Arreola (2015).

El trabajo de Guardado y Rivera (2012) hace el diseño de seguidor solar en dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES, que consiste en el desarrollo de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador, para establecer comparaciones entre la energía producida por un sistema fotovoltaico fijo orientado hacia el Sur, a 14° de inclinación y ubicado en San Salvador; con un sistema de igual capacidad, pero con seguimiento solar, para realizar una comparación en términos de eficiencia y economía.

López et al., (2020) en su trabajo mencionan: la instalación de paneles solares fotovoltaicos para aprovechar la energía solar se ha hecho evidente con el paso de los años. Uno de los problemas principales que se tienen al aprovechar esta energía solar utilizando paneles fotovoltaicos, es el elevado costo de estos en proporción a la cantidad de energía que producen. Ahora bien, el uso de sistemas de seguimiento solar busca que los rayos del sol sean perpendiculares al panel fotovoltaico, lo cual es una buena opción para mejorar la relación costo-beneficio a largo plazo de estos sistemas en particular. En el presente trabajo se realizó el diseño e implementación de un seguidor solar de un eje con un sistema de control sencillo y económico. Con el objetivo de mejorar la eficiencia



de paneles solares fotovoltaicos, se comparó la eficiencia del sistema diseñado con la de un sistema fotovoltaico fijo. Los resultados demostraron que la máxima eficiencia alcanzada por ambos sistemas fotovoltaicos se obtuvo entre las 14:00 y 14:15 horas, alcanzando valores por encima del 95 % para la condición de día soleado. Finalmente, el porcentaje promedio de la eficiencia del sistema de seguimiento solar fue mayor que el sistema fijo en un 20 %, aproximadamente. Al extraer más energía del panel fotovoltaico con seguimiento solar durante un tiempo mayor, promueve que el sistema propuesto sea más rentable comparado con la energía que se logra con paneles solares fijos. (López et al., 2020)

En el trabajo de García (2009), realiza un diseño de planta de 10MW de potencia, equivalente a 1.000 seguidores de 10KW de potencia. Esta potencia total de la instalación, por lograr la mayor economía de escala. Se puede estimar la extensión de terreno aproximada que se necesita para una planta fotovoltaica utilizando la hoja de características de algún seguidor del mercado. (García, 2009)

Fuentevilla (2012) en su trabajo de investigación hacen un análisis sobre los seguidores solares utilizan “reductores de engranaje; Los engranajes tienen la función de transmitir una rotación entre dos ejes con una relación de velocidades angulares constante. Se denomina Relación de Transmisión ( $i$ ) al cociente entre la velocidad angular de salida (velocidad de la rueda conducida) y la de entrada  $\omega_1$  (velocidad de la rueda conductora): dicha relación puede tener signo positivo si los ejes giran en el mismo sentido o signo negativo - si los giros son de sentido contrario-. Del mismo modo, si la relación de transmisión es mayor que 1 ( $i > 1$ ) se supondrá el empleo de un mecanismo multiplicador, y si es menor que 1 ( $i < 1$ ) que suele resultar lo más habitual, supondrá el empleo de un mecanismo reductor, o simplemente de un reductor. Es claro que la obtención de una relación de transmisión de carga entre dos ejes, no es algo exclusivo de



los engranajes, ya que lo mismo puede obtenerse con poleas o cadenas. Los engranajes, por otro lado, poseen varias ventajas competitivas que los hacen óptimos para transmitir movimiento rotatorio entre dos ejes con una relación de transmisión constante, tales como su relativa sencillez de fabricación, su capacidad para transmitir grandes potencias, la gran variedad de opciones constructivas, etc.” (Fuentevilla, 2012)

En la tesis “Diseño y simulación de un sistema energético fotovoltaico con control de seguimiento del punto de máxima potencia para proveer energía eléctrica eficiente en la región de Puno”, Cuenta Luque (2017), realiza el diseño de un seguidor solar implementado con el software de simulación Matlab/Simulink, para suministrar energía eléctrica a la vivienda durante las horas solares (día) e inyectando a la red eléctrica cuando se excede la demanda del consumo en la residencia.

Canaza Mamani, Uber Carlos (2015) en su tesis “Diseño y Construcción de un Seguidor Solar Automático aplicado a un Panel Solar Comercial en la Escuela Profesional Ingeniería Mecánica Eléctrica – Puno” realiza un seguidor solar de un solo eje, para un panel comercial de 370 w, con cuatro sensores de luz y dos motores de paso de 12 V-DC y un arduino como controlador, para traducir las señales, del sensor.

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1 Problema general**

Se analiza desde la pregunta:

¿Cómo realizar el diseño de un seguidor solar de dos ejes e implementarlo para que sea sustentable en Puno?

#### **1.3.2 Problemas específicos**

Se analiza desde las siguientes preguntas:

¿Qué ventajas tendrá el diseño e implementación de un seguidor solar de dos ejes?

¿Qué importancia tiene en el sector energético el mejorar la calidad y eficiencia



energética?

## **1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema se justifica, porque mejora el rendimiento (hasta un 25%) de los paneles con celdas fotovoltaicas, reduciendo el área de captación.

El área utilizada, también se reduce, dando la opción de tener mayor energía en un pequeño espacio.

## **1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.5.1 Objetivo general**

Diseñar un seguidor solar a dos ejes para incrementar la irradiación solar captada por paneles solares y mejorar la eficiencia de la captación de la energía solar y aumentar la energía eléctrica durante el día.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Realizar los cálculos mecánicos necesarios para realizar el diseño de un seguidor solar
- Realizar el análisis del sistema electrónico de mando para el seguidor solar.

### **1.5.3 Caracterización del área de investigación**

### **1.5.4 Ubicación geográfica**

La ubicación de la investigación se ubica en la Provincia de Puno, distrito de Puno.

## CAPITULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 SUSTENTO TEÓRICO

##### 2.1.1 Sistemas de seguimiento solar

Un sistema de seguimiento solar es un dispositivo mecánico capaz de orientar los paneles solares de forma perpendicular a los rayos solares para un mejor aprovechamiento de la radiación solar, ya sea siguiendo al sol desde el Este al amanecer hasta el Oeste en la puesta, o bien empleando el punto de máxima potencia.

##### 2.1.2 Existen tres tipos de seguidores solares

Estructuras Fijas. Son las más robustas y flexibles del mercado y permiten adaptarse a cualquier tipo de terreno con desniveles superiores al 5%.

Seguidores de un Eje. El seguidor solar estacional de un eje incrementa la producción de energía eléctrica en un 28% más respecto a una instalación fija.

Seguidores a dos Ejes. Los seguidores a dos ejes permiten incrementar aproximadamente la eficiencia hasta un 35% la producción de energía eléctrica de los paneles solares fotovoltaicos. (Sumano, 2012 )

Actualmente existen diferentes sistemas de seguimiento solar, ya que mejoran la energía solar captada por un panel durante el día que a su vez permite mayor conversión de energía solar a eléctrica.

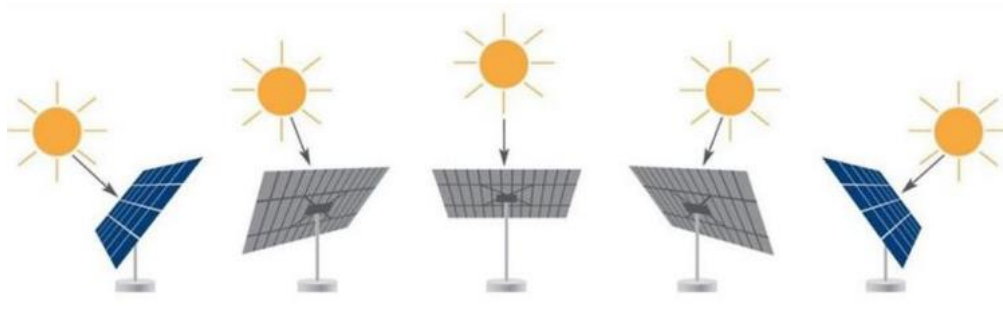


**Figura 1:** Seguidor solar de un eje. Seguidor solar de dos ejes.

Fuente: Enfsolar. 2020

### 2.1.3 Accionamiento de giro de doble eje

La aplicación de accionamiento de giro más común para los accionamientos de giro de doble eje son los seguidores solares de doble eje. El sistema de seguimiento de doble eje es una especie de unidad de energía que puede mantener el panel solar mirando hacia el sol en cualquier momento y hacer que la luz solar irradie el panel solar verticalmente en cualquier momento. La unidad de giro de doble eje puede mejorar la precisión de seguimiento y la eficiencia de generación de energía, lo que significa que la unidad de giro de doble eje puede crear una solución eficiente y confiable en una sola unidad. Los accionamientos de giro de doble eje se pueden montar horizontal, verticalmente o en una combinación de varios ejes.



**Figura 2:** Seguimiento solar

Fuente: Sunflower,2020

Estos sistemas de doble eje tienen un componente electrónico que con un algoritmo calculan el ángulo del sol. Son sistemas precisos y fiables inclusive en días lluviosos.

**Tabla 1:** Sistemas de seguidores solares existentes en el mercado

5kw eje doble sistema de seguimiento solar referencia			
Numero de modulo	de 18 unidades	Tamaño del modulo	1650*992mm/1956*mm
Seguimiento de precisión	de $\leq 1^0$	Comunicación protocolo	RS485-MODBUS
Fuente de alimentación	de 90~264VAC 47~63HZ	El consumo de electricidad	de $\leq 0.5$ (KW h)
X de Angulo	-120° ~ + 120°	Y de Angulo	+30° ~ + 90°
Soporte de la zona	~ 33m <sup>2</sup>	Temperatura de funcionamiento	de -40 ~ +70 °C
Material soporte	Galvanizado en caliente de acero	Peso del dispositivo	~ 980 KG
Estandar	GBT 29320-2021 CE TUV	Diseño de vida	> 25 años

Fuente: WattSun, 2020

#### 2.1.4 Ventajas de los seguidores solares

- 1) La generación de energía aumenta la eficiencia por 30% ~ 50%.
- 2) Estructura Simple fácil en la instalación
- 3) El rastreador ajusta los paneles solares a nivel horizontal cuando existe fuerte viento.



Simulated energy production for one kilowatt of solar PV capacity in Los Angeles, Calif.  
hourly average production by season, watthours

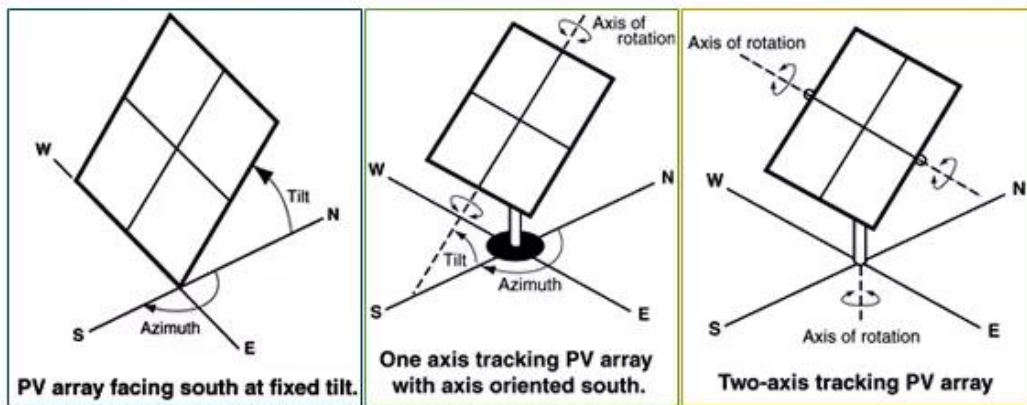
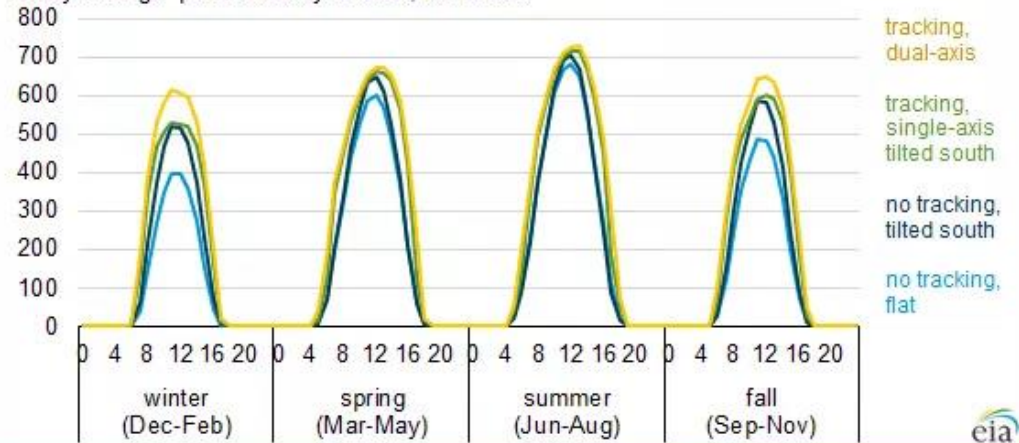


Figura 3: Grados de libertad de un seguidor solar de doble eje

Fuente: Sunflower, 2020

### 2.1.5 Comparación de energía

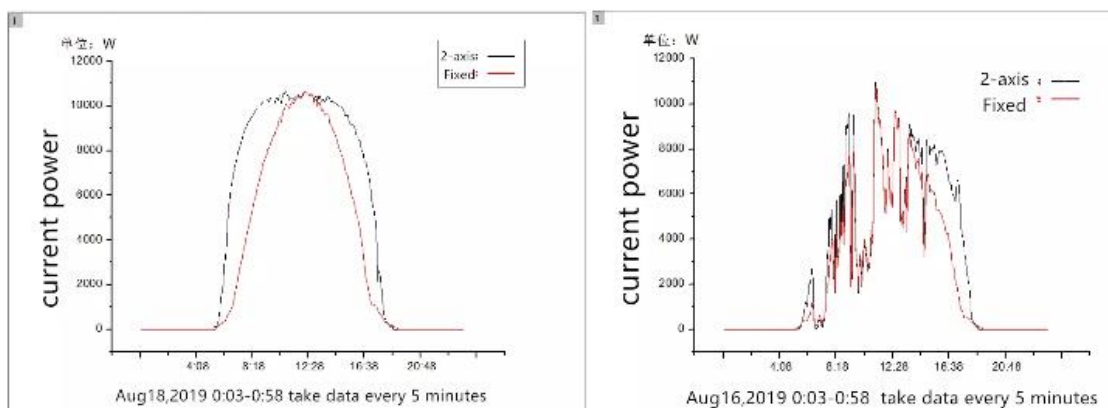


Figura 4: Comparación de Energía captada con y sin seguidor solar.

Fuente: Sunflower, 2020

## 2.1.6 La generación de energía comparación entre eje doble sistema de seguimiento solar fija y sistema solar

Los siguientes datos fueron recogidos el 17 de agosto de 2019 en un día soleado:

**Tabla 2:** Datos tomados con paneles fijos y paneles de doble eje.

Tiempo	DOBLE EJE (Kw h)	Fijo (Kw h)
5:00 – 6:00	0.17	0.05
6:00 – 7:00	4.8	0.57
7:00 – 8:00	8.75	2.96
8:00 – 9:00	10.02	5.78
9:00 – 10:00	10.5	8
10:00 – 11:00	10.6	9.56
11:00 – 12:00	10.6	10.3
12:00 – 13:00	10.75	10.67
13:00 – 14:00	10.78	10.2
14:00 – 15:00	10.48	8.79
15:00 – 16:00	10.12	7.08
16:00 – 17:00	9.2	4.09
17:00 – 18:00	5.73	0.75
18:00 – 19:00	0.5	0.3
<b>Total diario</b>	<b>113</b>	<b>79.1</b>

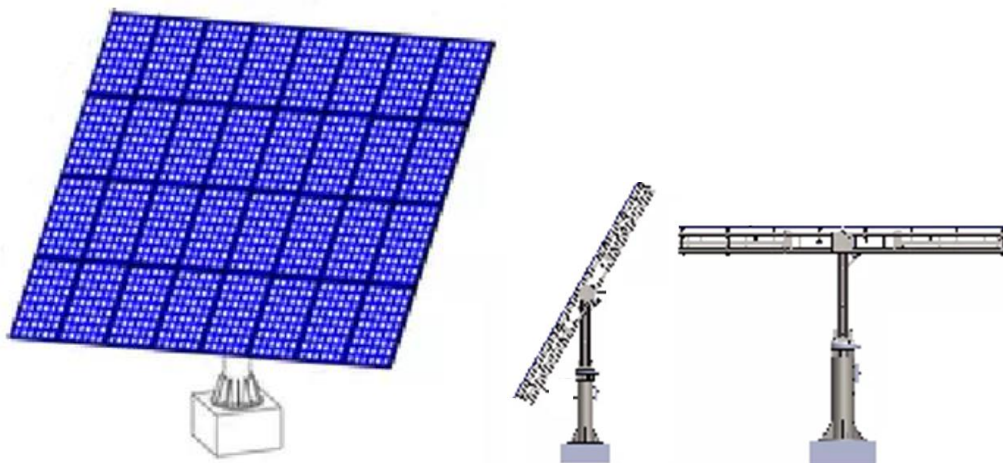
Fuente: sunflower, 2020

De los datos, se puede concluir que la relación:  $113/79.1 = 1.428$ .

Significa que la generación de energía con doble eje aumentó un 42.8% en comparación con el sistema fijo.

## 2.2 LA ESTRUCTURA DEL PANEL

La estructura es uno de los componentes más importantes, porque debe soportar su propio peso y el peso de los paneles solares fotovoltaicos, y si es de un eje tener la posibilidad mecánica de girar en el eje vertical u horizontal, mientras que si es de dos ejes debe tener los mecanismos y actuadores necesarios para mover en conjunto en el movimiento vertical y horizontal, debe ser de un material resistente a la intemperie como el aluminio o el acero inoxidable.



**Figura 5:** Estructura del panel que soporta las células fotovoltaicas.

Fuente: Sunflower, 2020

## 2.3 EL CONTROLADOR

El método de control de la estructura del módulo es mediante sensores que realizan el seguimiento de la posición del sol durante el día, de forma que la energía solar está siempre perpendicular a la posición del panel estructural que contiene los módulos fotovoltaicos inclusive hace un cálculo cuando falta iluminación en días nublados y lluviosos.

Para el control del seguimiento solar, se pueden utilizar diferentes tipos de procesadores, un PID, PLC, Raspberry, Arduino, etc. Con la única condición es que sean programables.

### 2.3.1 El controlador lógico programable.

Es una unidad de procesador comúnmente llamado PLC (Programmable Logic Controller). Utilizado para controlar motores de máquinas haciendo que se comporten como autómatas, mediante un software o lenguaje de programación.

Está compuesto por el CPU (Unidad Central de Procesamiento), un módulo de memorias que controlan entradas (inputs) para conectarse sensores y salidas (outputs) donde se colocan los actuadores o motores. La fuente de alimentación y la unidad de programación. Para realizar la programación se utiliza un software propio de cada marca. La función que tiene un PLC es utilizar señales analógicas y digitales, y realizar acciones de acuerdo a lo que se ha programado.



**Figura 6:** PLC nano, PLC, PLC modular

Fuente: <https://srcsl.com>

Los PLC se agrupan en tres categorías principales.

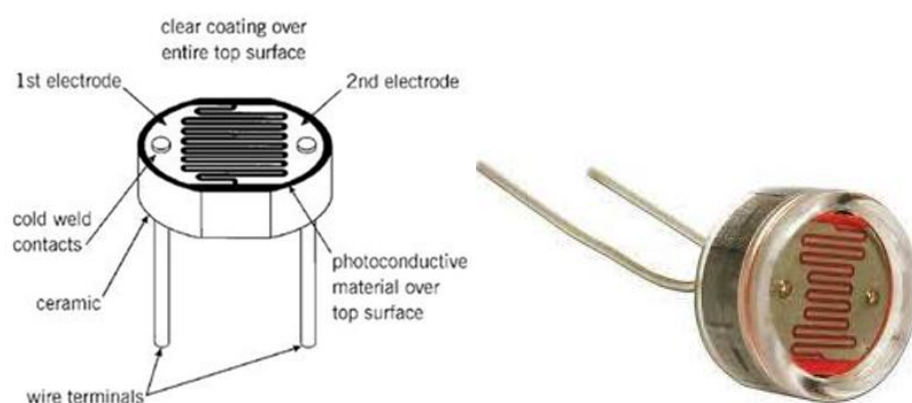
Tipo compacto; en tamaño nano o reducido, aunque el funcionamiento es básico se utiliza para realizar el control de precisión de maquinaria y equipos.

Tipo modular; Presenta la posibilidad de PLC, que actúan como módulos ampliables según el crecimiento de la industria o procesos. Trabaja con programas más complejos, tiene mayor capacidad de memoria y operatividad. Su Montaje se realiza en rack.

PLC con HMI incorporado; el HMI (Human Machine Interface) es un dispositivo programable de interfaz gráfica, que combinado con el PLC permite optimizar la experiencia de programación y uso de la máquina. Reduce el cableado de los elementos del PLC y los muestra en una pantalla gráfica según se programe.

## 2.4 SENSORES

La mayoría de los seguidores solares utiliza dos sensores electro-ópticos (fotorresistencia o LDR, que varía su resistencia de acuerdo a la cantidad de luz que recibe) ; que reciben la luz incidente del sol por un pequeño tubo y que permite realizar el cálculo de la dirección del sol, para que el procesador del controlador reaccione haciendo operar los actuadores.



**Figura 7:** Sensor solar

Fuente: instructables, 2020

El sensor para seguimiento solar, también toma el nombre de rastreador Solar, incluye un sensor de inclinación y uno de ángulo de rotación, como se muestra en la figura.



**Figura 8:** Rastreador solar de dos ejes.

Fuente: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es), 2020

## 2.5 ACTUADORES

Los actuadores son en general motores eléctricos trifásicos, cuando la estructura del módulo es demasiado grande con paneles fotovoltaicos de más de un número de 5, también se utilizan motores de corriente continua y para un control de precisión motores paso a paso.



**Figura 9:** Motor de corriente continua

Fuente: [www.directindustry.es](http://www.directindustry.es), 2020



### 2.5.1 Motores paso a paso

Los motores paso a paso se dividen en dos categorías principales: de imán permanente y de reluctancia variable. Y los híbridos que es una combinación de ambos. (Carletti, 2020)

Los motores paso a paso se pueden ver como motores eléctricos sin escobillas. Es típico que todos los bobinados del motor sean parte del estator, y el rotor puede ser un imán permanente o, en el caso de los motores de reluctancia variable (que luego describiremos mejor), un cilindro sólido con un mecanizado en forma de dientes (similar a un engranaje), construido con un material magnéticamente "blando" (como el hierro dulce).

La conmutación se debe manejar de manera externa con un controlador electrónico y, típicamente, los motores y sus controladores se diseñan de manera que el motor se pueda mantener en una posición fija y también para que se lo pueda hacer girar en un sentido y en el otro.

La mayoría de los motores paso a paso conocidos se pueden hacer avanzar a frecuencias de audio, lo que les permite girar muy velozmente. Con un controlador apropiado, se los puede hacer arrancar y detenerse en un instante en posiciones controladas (Carletti, 2020)





**Figura 10:** Motores paso a paso

Fuente: robots-argentina.com.ar

### 2.5.2 Actuadores lineales

Un actuador lineal eléctrico es un dispositivo que convierte el movimiento rotatorio de un motor en movimiento lineal. Se puede integrar en cualquier equipo para empujar, tirar, levantar, bajar, posicionar o girar una carga. El actuador eléctrico es muy utilizado en seguidores solares, por su fácil utilización y programación, con la ayuda de motores paso a paso o motores de inducción monofásicos o trifásicos. (TiMotion, 2017)

Consiste en un tornillo sinfín, que es accionado por un motor sea eléctrico en paralelo o en “L” que acciona un émbolo que funciona como un brazo que se extiende o se reduce.

Esta acción es sobre una carga como tuercas, roscas, engranajes, cojinetes de bolas, etc, actuando en tracción, empuje, movimiento de longitud vertical u horizontal. (Timotion, 2017)



### 2.5.3 Actuadores eléctricos en ángulo recto o en forma de "L"

El motor se coloca perpendicularmente al tornillo sin fin. Los actuadores eléctricos en L suelen ser impulsados por engranajes helicoidales. Estos actuadores ofrecen menos opciones de variación de velocidades que los motores de engranajes rectos y, por lo tanto, son menos eficientes, pero son más silenciosos y ofrecen una mayor fuerza de auto bloqueo.



**Figura 11:** Actuador eléctrico en “L”

Fuente: Timotion, 2017

### 2.5.4 Actuadores eléctricos paralelos

El motor es paralelo al tornillo sin fin. Los actuadores eléctricos paralelos suelen ser impulsados por engranajes rectos que ofrecen más opciones de variación de velocidades. Estos actuadores permiten un mayor rango de cargas y velocidades, pero son menos silenciosos que los actuadores equipados con engranajes helicoidales.(TiMotion, 2020)

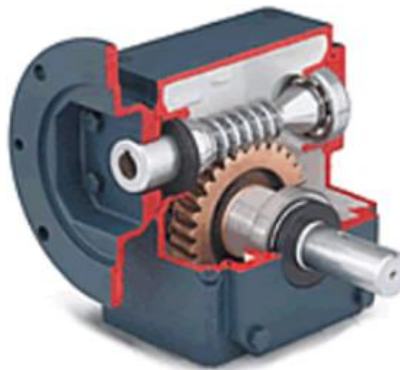


**Figura 12:** Actuador eléctrico en eje paralelo

Fuente: Timotion, 2017

## 2.6 REDUCTOR DE SINFIN CORONA

Para el control del movimiento, es necesario que el eje del motor, posea un reductor que permita el movimiento controlado desde  $90^\circ$  a  $0^\circ$ . Así mismo tener una transmisión mediante un sinfín-corona, aunque el rendimiento se reduce del motor hasta un 45 %.



**Figura 13:** Sistema de reducción sinfín a corona.

Fuente: Duque, 2017

## 2.7 COJINETES Y RODAMIENTOS

Para facilitar que las piezas móviles que deben estar soportados en dos puntos de apoyo oponiendo la mínima resistencia, se utilizan los cojinetes.

Existen de dos tipos:

Cojinetes de deslizamiento o fricción, y

Cojinetes de rodadura o rodamientos.

### 2.7.1 Cojinetes de deslizamiento o de fricción

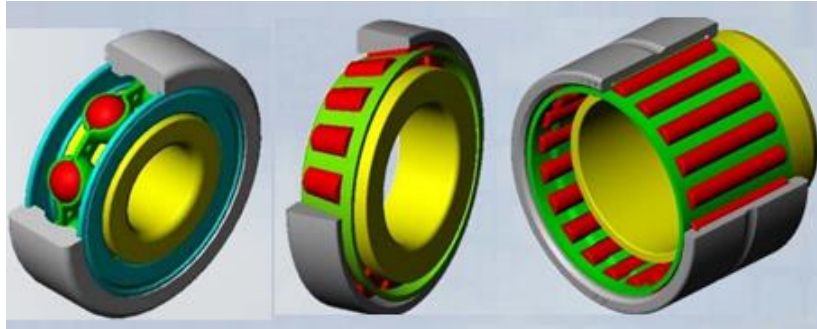
Las superficies fija y móvil "**friccionan**", por deslizamiento, separadas de una película de lubricante. Están constituidos por un **soporte** perfectamente acoplado sobre un casquillo de metal duro, que es el cojinete propiamente dicho, dado que siempre se produce rozamiento es necesario recurrir al uso de los cojinetes deben cumplir las siguientes condiciones:

- Una superficie exterior suficientemente lisa para que el lubricante sea arrastrado por el árbol al girar.
- Un elevado coeficiente de transmisión de calor, para disparar el incremento de temperatura producido por el rozamiento.
- Un coeficiente de rozamiento lo menor posible en el deslizamiento en seco con el fin de reducir la resistencia en el momento de arranque.
- Una buena unión entre el casquillo y su soporte.
- Este tipo de cojinete queda limitado por la carga admisible a soportar para poder formar la película lubricante, pero cuando este inconveniente no se presenta, se pueden emplear en órganos giratorios a grandes velocidades y con poco ruido.



**Figura 14:** Cojinete de deslizamiento o de fricción.

(Pillow-block, 2020)



**Figura 15:** Diferentes tipos de cojinetes

Fuente: soporte cojinetes y rodamientos.html

### 2.7.2 Cojinetes de rodadura o rodamientos.

En ellos el gorrón del árbol y la superficie de rodadura del soporte están separados por elementos rodantes, de forma que con el giro del gorrón o del cojinete se genera un movimiento de rodadura y no de deslizamiento. Están constituidos por dos anillos rodantes separados entre sí por unos cuerpos, también rodantes, interpuestos entre éstos, cuya forma varía según su uso, pueden ser de diferentes formas: bolas, rodillos, cilíndricos, agujas, etc.

Respecto a las cargas; Según la posición del rodamiento respecto a la carga, se diferencian tres tipos:

- **Axiales**, admiten cargas en sentido de su eje.



**Figura 16:** Cojinete axial, cojinete radial, cojinete de empuje

Fuente: soporte cojinetes y rodamientos.html

- **Radiales**, admiten cargas en sentido perpendicular a su eje y ninguno en sentido longitudinal.



- **De Empuje**, admiten cargas tanto en sentido axial como radial.

#### 2.7.4 Ventajas:

- El coeficiente de rozamiento no depende de la carga que deben soportar, ni de la velocidad de giro, ni del tiempo de utilización.
- Su longitud es menor, lo que le hace idóneo en diseños más reducidos.
- Menor necesidad de lubricación.
- Debido al bajo rozamiento, su calentamiento es más reducido, por lo que la temperatura de trabajo es menor.
- Son muy versátiles, pueden ser empleados casi para todas las necesidades.

#### 2.7.5 Desventajas:

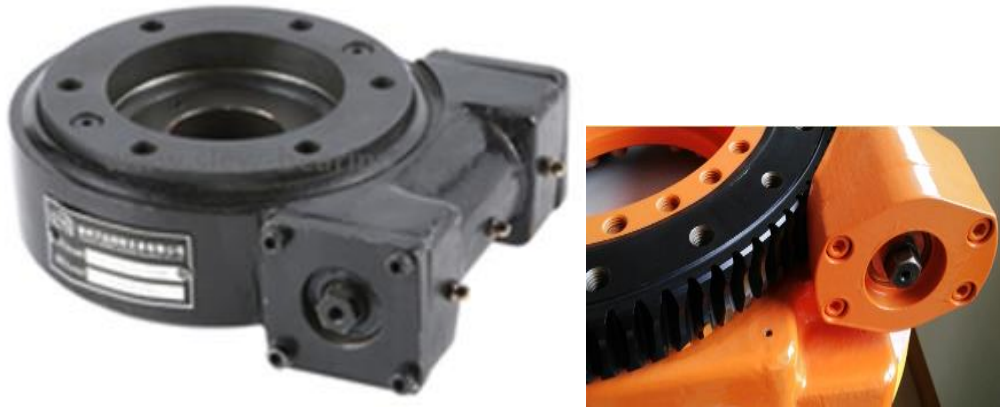
- En su montaje se tiene que ser muy preciso en los ajustes, si no su rotura es inmediata.
- Son más sensibles a los choques o cargas bruscas.
- La suciedad acorta su vida.
- Son más ruidosos.

### 2.8 RODAMIENTO DE GIRO

Rodamiento o cojinete de giro (también llamado de anillo de giro o círculo de giro). El accionamiento de giro se aplica ampliamente en que se aplican principalmente en maquinaria y vehículos que hacen mucho esfuerzo. Al adoptar el cojinete de giro el impulso de giro puede soportar la fuerza axial, la fuerza radial y el momento de inclinación simultáneamente.

Para una mejor performance del módulo planteado; y mejorando el diseño, se puede reducir costes, utilizando las cajas de engranajes eléctricas y planetarias; porque el mecanismo de giro tiene la ventaja de ahorrar espacio en las instalaciones, capacidad de carga máxima en un diseño compacto, vida útil prolongada y menor costo de mantenimiento.

Este tipo de rodamiento, permite que se le acople un eje o tornillo sinfín unido al eje de un motor, para poder ser controlado, también se llama engranaje de gusano, como se ve en la figura.

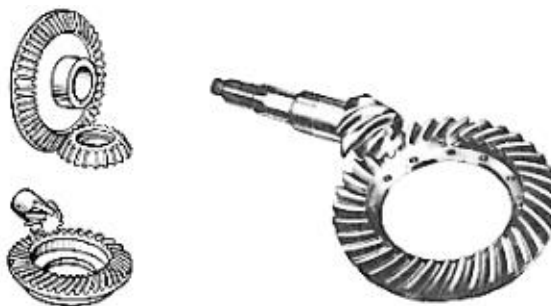


**Figura 17:** Rodamiento con eje sinfín incluido.

Fuente: <https://es.slew-bearing.com>

## 2.9 ENGRANE EN EJES CONCURRENTES

Esta disposición denominada de ejes concurrentes; utilizan ruedas dentadas cónicas con dentado recto o helicoidal. La proyección de los ejes se corta en ángulos que pueden diferir de  $90^\circ$ . Su característica principal es el re-direccionamiento del par, por ejemplo, entre equipos motrices montados de forma horizontal y equipos conducidos montados de forma vertical. Muy utilizados para el desplazamiento de ejes horizontales en seguidores solares.



**Figura 18:** Engranajes de ejes concurrentes.

Fuente: [www.abina.com](http://www.abina.com)

## 2.10 UNIDAD DE GIRO

La unidad de giro se asegura de que el mecanismo de transmisión sinfín produzca un par de giro. Se puede encontrar en muchos tipos de maquinaria, como turbinas eólicas, grúas y telescopios. Pero también se utilizan ampliamente en seguidores solares para proporcionar movimiento de rotación, principalmente en dirección vertical. Estos se conocen como accionamiento de giro de un solo eje. Debido a que la transmisión giratoria utiliza un sistema de transmisión desgastado, es autobloqueante o irreversible. Esto hace que el mecanismo de giro sea resistente al viento y otras fuerzas externas en los seguidores. Una unidad de giro se hace combinando los engranajes, cojinetes, sellos, carcasa y otros componentes en una sola unidad.



**Figura 19:** Unidad de giro (rodamiento y motor)

Fuente: soporte cojinetes y rodamientos.html

## 2.11 ACCESORIOS E INSTRUMENTOS

Se utilizó para el presente trabajo los siguientes instrumentos:

### 2.11.1 Anemómetro

El uso del anemómetro es para controlar la velocidad del viento, que cuando son estructuras demasiado grandes, pueden voltear la estructura o dañar los soportes con esfuerzos continuos e inclusive dañar las células fotovoltaicas; entonces en esos casos, el

tablero estructural que contiene las células fotovoltaicas, se pone en horizontal y no hace oposición al viento.



**Figura 20:** Anemómetro con conexión a salida de PC

Fuente: [www.abina.com](http://www.abina.com)

### 2.11.2 Caja del dispositivo de control

Los seguidores solares, son equipos modulares, que se acomodan para su funcionamiento en diferentes espacios como Urbanizaciones residenciales, granjas, estaciones de salud o policía y muchas otras aplicaciones, por su carácter autónomo, el equipo de control viene incorporados a la estructura; para lo que en su generalidad utilizan cajas de metal con un grado de protección IP, para las inclemencias del clima que van a soportar.



**Figura 21:** Caja de control con grado de protección IP

Fuente: [www.abina.com](http://www.abina.com)



### 2.11.3 Interface

Son los cables necesarios para la conexión entre el PC y el controlador, con el que se realiza la transferencia del programa de control de la PC al PLC o controlador.

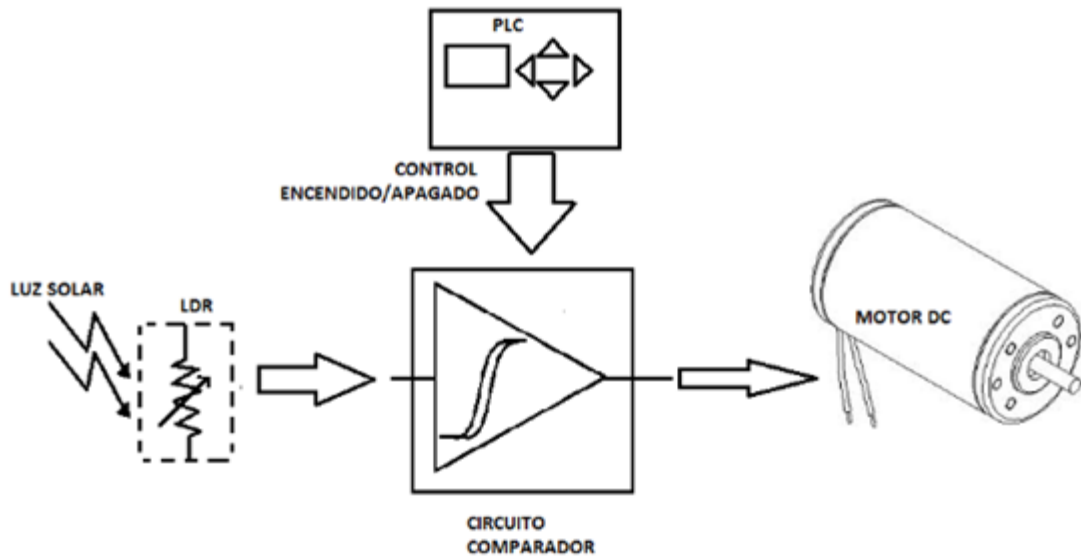


**Figura 22:** Cable de interface puerto USB. RS232

Fuente: [www.abina.com](http://www.abina.com)

## 2.12 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR

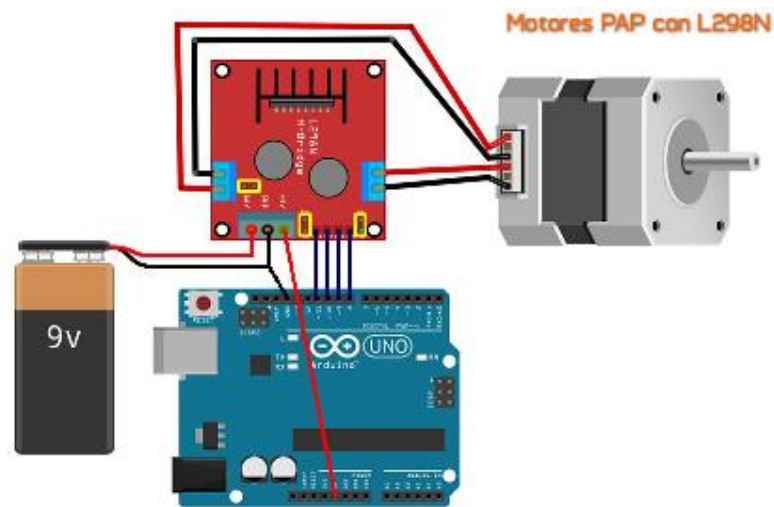
Consiste en un circuito analógico capaz de detectar el desbalance luminoso entre dos fotorresistencias ubicadas sobre el panel solar, de manera que cuando estas no estén orientadas hacia el Sol, el circuito pueda activar un motor que actúe sobre la estructura del panel solar para orientarlo hacia el Sol y corregir dicho desbalance. La figura muestra un esquema básico del funcionamiento del sistema. El PLC se utiliza para activar y desactivar periódicamente el circuito comparador, que es el que detecta el desbalance de luz entre las LDR's y activa el motor en el sentido correspondiente.



**Figura 23:** Esquema básico del seguidor solar

Fuente: Sotelo, 2010)

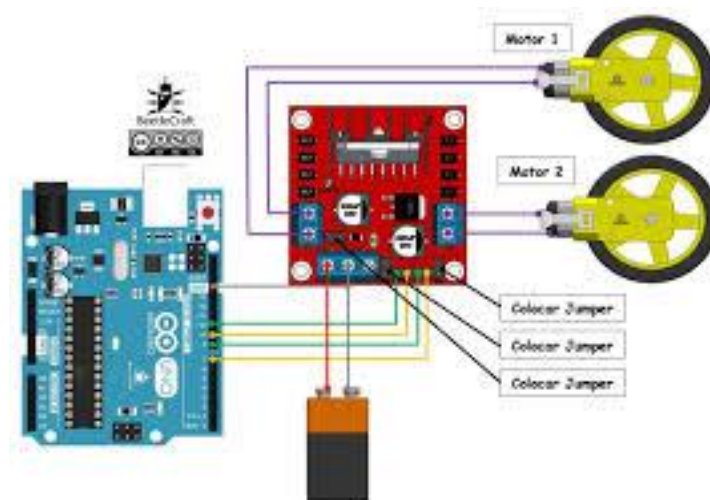
### 2.12.1 Esquema de un eje



**Figura 24:** Esquema del circuito electrónico de control del seguidor solar de un eje

Fuente: Mechanics, 2020

### 2.12.2 Esquema de doble eje



**Figura 25:** Esquema del circuito electrónico de control del seguidor solar de dos ejes de baja potencia.

Fuente: Mechanics, 2020

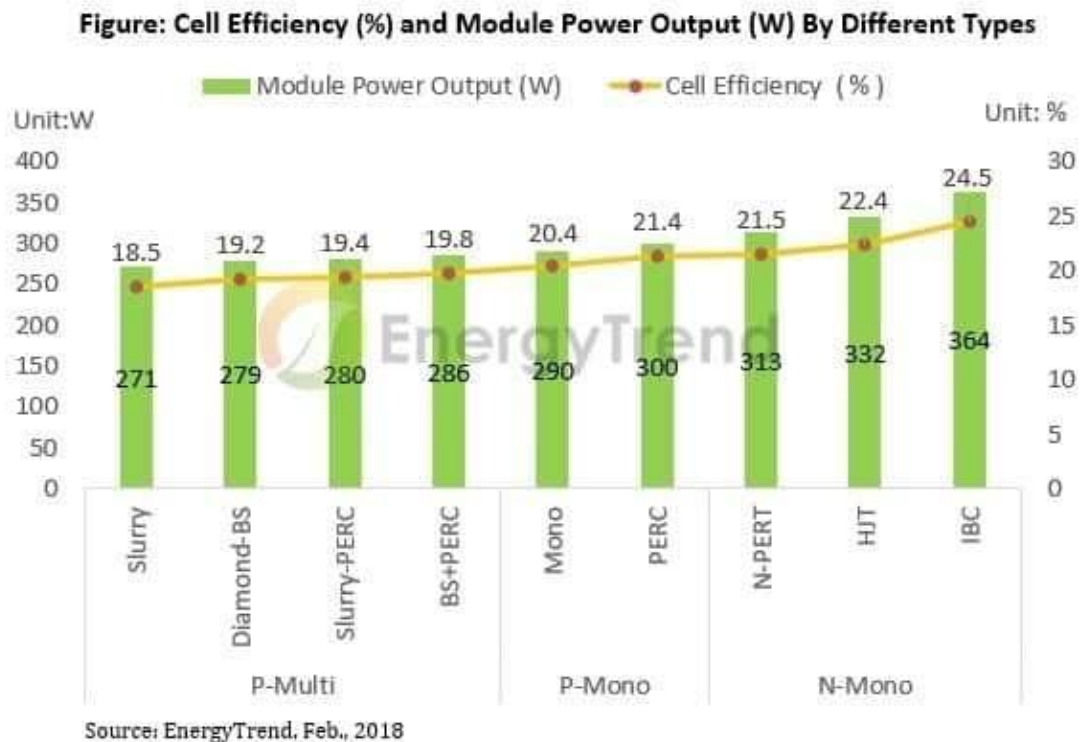
### 2.13 EFICIENCIA DE LA CELDA SOLAR

Existen cuatro tipos de paneles solares, los monocristalinos, los policristalinos, los multicristalinos y los bifaciales. Los bifaciales es una nueva implantación y aún no hay datos reales de cuánto más producen por su cara posterior y tienen una serie de problemas con las sombras que proyectan sobre la parte posterior de la célula.

Dentro de esto las celdas monocristalinas son las más eficientes, seguidas por las policristalinas. Mientras los mejores paneles monocristalinos superan ligeramente el 20%, la mayoría de los paneles en producción hoy captan alrededor del 16% de la energía disponible de la luz.

Las celdas IBC de mayor costo son generalmente las más eficientes (20-22%) ya que están construidas con silicio de tipo N de alta pureza y no sufren pérdidas por sombreado de bus bar, sin embargo las celdas mono PERC recientes también han alcanzado niveles de eficiencia superiores al 20%.

En un estudio hecho por EnergyTrend en 2018 (pveurope, 2018), se muestra una comparación de los tipos de tecnología que existen y sus eficiencias:



**Figura 26:** Eficiencias de células solares según la tecnología.

Fuente: pveurope

De la gráfica se observa:

- En el eje Y se ve la potencia del panel en función de su tecnología.
- En el eje X están los tipos de tecnología. Los de P-Multi (Policristalina), la P-Mono (Monocristalina) y la N-Mono (Monocristalina de alta pureza).
- Las barras de color verde, muestran la potencia estándar de la tecnología y su eficiencia.

Por ejemplo, para la P-Mono PERC (Tecnología PERC), el estándar es 300W con eficiencia de célula (no de panel) del 21.4%.

Los paneles solares más eficientes son los de tecnologías monocristalinas HIT e IBC, que usan silicio tipo N. Los paneles que usan tecnología Mono PERC con silicio

tipo P y los paneles solares menos eficientes son los de tecnología Multi (Policristalina) también con silicio tipo P.

Los paneles que usan silicio tipo N son de calidad superior al resto, debido a que el tipo de silicio es el más puro que existe en la industria fotovoltaica. Mientras que los de silicio tipo P, tiene algunas impurezas, y no llega a las eficiencias de un panel solar con silicio tipo N.

**Tabla 3:** De los 10 Paneles Solares más eficientes que existen en el mercado

FABRICANTE	MODELO	EFICIENCIA DE PANEL	POTENCIA DEL PANEL	TAMAÑO (largo x ancho)
SunPo wer	SPR-X22-370 (Ahora <a href="#">MAX3-400</a> )	22.6%	400W	1.690 x 1.046 mm
SunPo wer	SPR-X22-360 (Ahora <a href="#">MAX3-390</a> )	22.1%	390W	1.690 x 1.046 mm
SunPo wer	<a href="#">MAX3-370</a>	20.9%	370W	1.690 x 1.046 mm
<a href="#">LG</a> <a href="#">Neon R</a>	LG360Q1C- A5	20.8%	360W	1.700 x 1.016 mm
LG	LG355Q1C- A5	20.6%	355W	1.700 x 1.016 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.6%	335W	1.559 x 1.046 mm
SunPo wer	<a href="#">MAX2-360</a>	20.4%	360W	1.690 x 1.046 mm
AUO	SunForte PM096B00	20.3%	330W	1.559 x 1.046 mm
SunPo wer	<a href="#">MAX3-350</a>	19.8%	327W	1.690 x 1.046 mm



SHAR				1.318
P	NQ-R256A	19.8%	256W	x 980 mm
Panasonic	<a href="#">VBHN330SJ5</a>	19.7%	330W	1.590
	<a href="#">3</a>			x 1.053 mm
Panasonic	VBHN325SJ5	19.4%	325W	1.590
	3			x 1.053 mm
SunPower	<a href="#">SPR-P19-400</a>	19.4%	400W	2.067
				x 998 mm

Fuente: (Blog solar mub, 2021) Blog fotovoltaico. (europe. 2019)

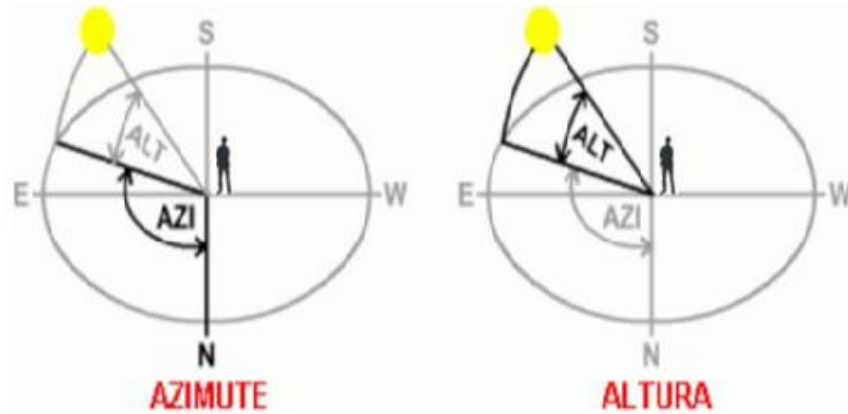
El precio de paneles solares compensa la diferencia en eficiencia por que el rendimiento a lo largo de los 25 - 30 años será superior, y el caso en que hay poco espacio.

## 2.14 COORDENADAS DEL SOL EN EL HEMISFERIO

Para diseñar un dispositivo que debe obtener las coordenadas de ubicación del sol en todo momento del día, es necesario obtener las coordenadas del Sol en cualquier momento del día y del año.

### 2.14.1 Las coordenadas celestes

Se considera que el sol realiza su recorrido por una bóveda celeste, de la cual los seres humanos son el centro. Los puntos singulares de la bóveda o hemisferio celeste serían el punto más alto o Cenit (Nadir sería el punto opuesto), y el plano del horizonte con las orientaciones principales (N, S, E y W). Las coordenadas celestes permiten localizar cualquier punto del hemisferio por su altura,  $h$ , sobre el horizonte y su azimut,  $Z$ , o desviación al Este u Oeste desde el Sur.

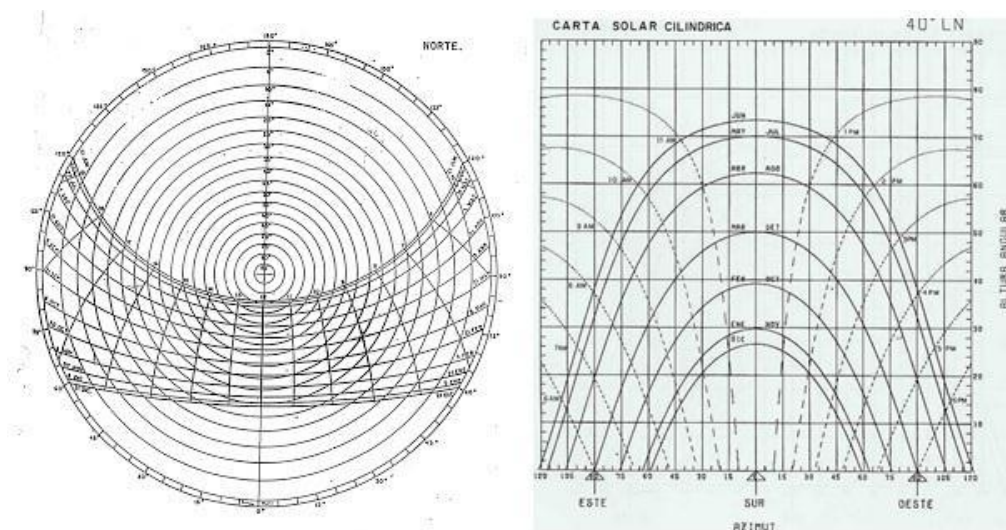


**Figura 27:** Geometría solar.

Fuente: Bittencourt, 2004)

### 2.14.2 La carta solar

Es posible estimar la proyección solar, su elevación y posición, de acuerdo a gráficos geométricos, por medio de los cuales, existen curvas establecidas correspondientes a diferentes fechas importantes a lo largo del año, existen dos tipos de cartas solares, la carta estereográfica y la cilíndrica, las cuales se muestran a continuación.



**Figura 28:** Carta estereográfica y carta cilíndrica respectivamente

Fuente: García, 2016



## **2.15 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **2.15.1 Hipótesis general**

Es posible diseñar un soporte mecánico, de plataforma controlada que realice el seguimiento del disco solar, y que soporte la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para cubrir la demanda de energía básica de un establecimiento; sea este de salud, de estación de seguridad ciudadana, u otro similar

### **2.15.2 Hipótesis específicas**

- Si es factible realizar los cálculos analíticos mecánicos necesarios para una plataforma de contextura mecánica de un seguidor que soporte la cantidad de paneles fotovoltaicos que generen una potencia de 2Kw
- Si es factible realizar los cálculos analíticos eléctricos y electrónicos necesarios para una plataforma utilice un seguidor solar y además soporte la cantidad de paneles fotovoltaicos que generen una potencia de 2Kw.



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA

Comprende el análisis de la estructura, se inicia por los requerimientos físicos mecánicos que el sistema debe de cumplir, como el esfuerzo que deben soportar, los mecanismos de giro que deben mover la plataforma, el ancho y el largo de la misma; la parte eléctrica y de control que complementarán el diseño. Primeramente, se decide que tipo de diseño se hará, cuál será el dispositivo de control y que sensor será el encargado de obtener las coordenadas del Sol en cualquier momento del día. Se decide por un seguidor solar a dos ejes por punto luminoso.

Consideraciones iniciales para el diseño:

- Soporte de alta resistencia, buen rendimiento.
- Protección automática contra el viento, se coloca en posición horizontal
- protección automática para el granizo se coloca en posición vertical.

Obtención de parámetros para el diseño:

- Cálculo del peso de los paneles para generar 2 Kw.
- Cálculo del esfuerzo que debe soportar el sistema de giro

**Consideraciones iniciales para el diseño:**

#### **Soporte**

El soporte debe ser de alta resistencia, y por sus condiciones de utilización a la intemperie, se elige para la mesa o tornamesa, el aluminio y para los ejes se utiliza el acero inoxidable por su eficiente durabilidad y buen rendimiento en trabajos al exterior.

Por el planteamiento del diseño, que no estará expuesto a fuertes vientos, debido a su utilización en zonas urbanas (en zonas rurales no tienen limitación de área de



terreno) la protección contra el viento, se hará colocando el tablero en posición semi horizontal. Además que el sistema debe garantizar el mantenerse en su posición pese a esfuerzos externos de hasta 2.5% de su peso total. (para apoyos del personal de mantenimiento). Se debe adicionar un sensor de viento (anemómetro), para prevenir esta condición.

Protección automática para el granizo se coloca el tablero en posición vertical. Se utilizará un sensor de impacto.

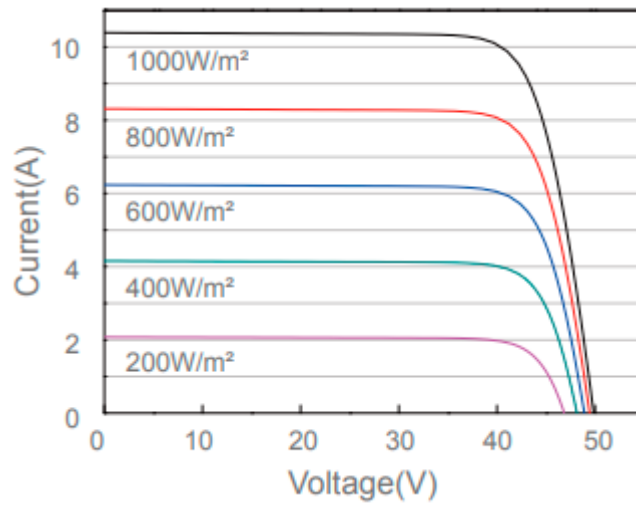
Tomando las consideraciones teóricas del movimiento del Sol durante las diferentes épocas del año, los límites que este debe tener en su movimiento para encontrar la orientación o posición adecuada de acuerdo a las ordenadas horizontal y vertical, la disposición del soporte debe ser orientado en dirección norte, comenzando su giro horizontal de este a oeste y acimutal de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ .

Celda solar Tipo: Solar Perc Monocristalina MODELO JAM72S20 - 455W-24V.

Panel convencional de 72 células. Garantía: 12 años. 3 Cajas en la parte trasera para los cables. Incluye los diodos de derivación.

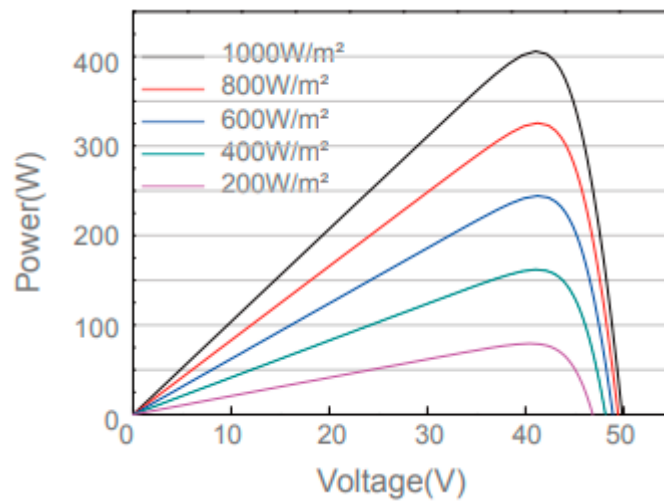
- Eficiencia: 20,2%

### Curvas características



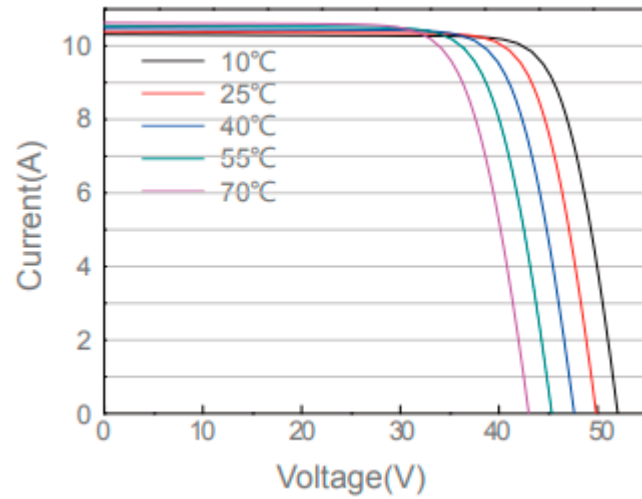
**Figura 29:** Curva característica Corriente (A) – Voltage (v)

Fuente: JASOLAR



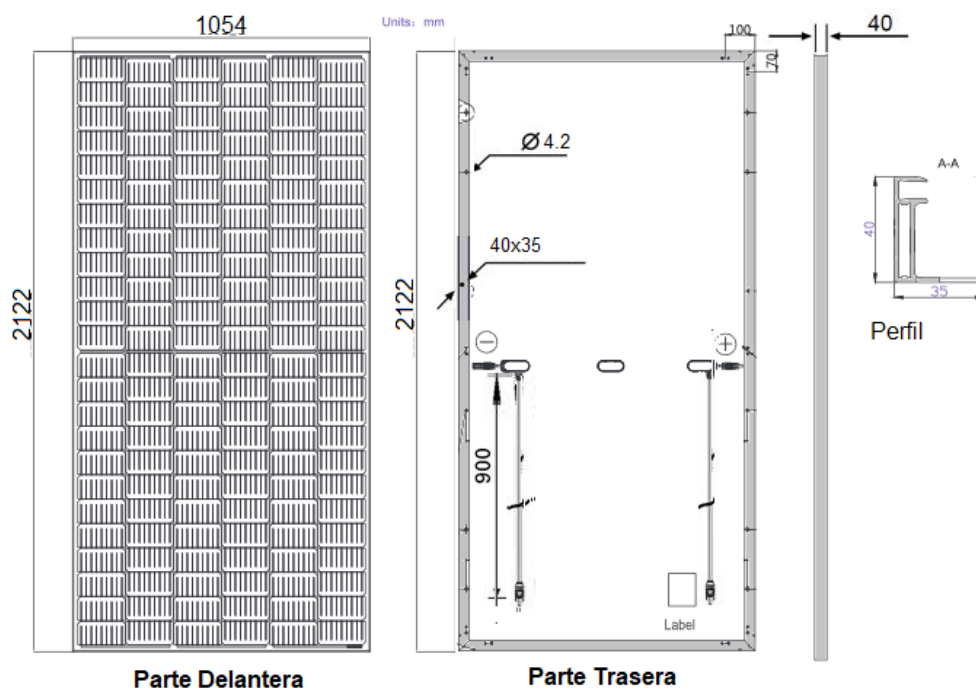
**Figura 30:** Curva característica Potencia (W) – Voltage (v)

Fuente: JASOLAR.



**Figura 31:** Curva característica Temperatura -Corriente (A) – Voltage (v)

Fuente: JASOLAR



**Figura 32:** Dimensiones del panel fotovoltaico

Fuente: JASOLAR.

- Dimensiones: longitud, ancho, alto: 2.12 x 1.052 x 0.040 m



- Potencia Pico (P<sub>MAX</sub>): 455W
- Voltaje a máxima potencia (V<sub>MPP</sub>): 41,82V
- Intensidad en cortocircuito (I<sub>SC</sub>): 11,41A
- Intensidad a máxima potencia (I<sub>MPP</sub>): 10,88A
- Voltaje en circuito abierto (V<sub>OC</sub>): 49,85V
- Voltaje Nominal: 24 V
- Peso: 25 kg.

Los paneles fotovoltaicos se colocaran sobre la estructura asegurando en todo momento su integridad.

Para realizar los cálculos iniciales, se debe conocer la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para producir la cantidad de 2000 w. Para obtener este dato, se recurre a los catálogos de los fabricantes y se elige el fabricante que ofrezca una buena eficiencia en comparación con su precio. Se ha elegido el siguiente modelo de panel Fotovoltaico:

Placa de celdas solares con tecnología PERC, del fabricante Ja Solar: distribuido por Panel Solar Peru (Costo: 210 US\$) (panelsolarperú, 2021)

### 3.1.1 La constante solar

- Según las condiciones del trabajo presentado, los requerimientos necesarios para el diseño de la estructura del seguidor solar, son para soportar paneles fotovoltaicos de hasta una potencia de 2000 w.
- Para el cálculo del área requerida, se utiliza la constante solar:
- Constante solar (CS) = 1000w/m<sup>2</sup>
- Coeficiente de seguridad de diseño: 20 % = 0.2
- Potencia requerida: 2000 w
- Potencia de diseño (PD):  $1.2 \times 2000 = 2400$  w

- Área requerida =  $PD (w) / CS (w /m^2) \times Eficiencia$
- Área requerida =  $2400/1000 \times 0.20 = 12 m^2$
- Se requiere un área de  $12m^2 = 3 \times 4$

### 3.1.2 Número de paneles fotovoltaicos

Para el cálculo del número de paneles fotovoltaicos, se debe dividir la potencia total requerida entre la potencia efectiva entregada por el panel FV.

Datos iniciales:

Potencia requerida es: 2 Kw

$P = 2000 w$ .

$P_t = 2000 w$

$P_{panel} = 455 w$

Coefficiente de Seguridad = 0.2

$N^{\circ} \text{ de paneles} = (1.2 \times 2000) / 455 = 5.27$

$N^{\circ} \text{ paneles} = 6$

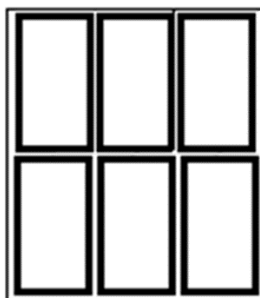
Potencia total =  $6 \times 455 = 2730 w$ .

### 3.1.3 Disposición de los paneles fv

De los datos de los paneles Fv, se obtiene:

Longitud: 2.120 m, ancho: 1.052 m.

La disposición de los paneles será de dos filas x 3 columnas, como se ve en la figura:



**Figura 33:** Disposición de los paneles FV en el tablero.

Fuente: JASOLAR.

### Cálculo del peso de los paneles

Peso de cada panel FV = 25 Kg

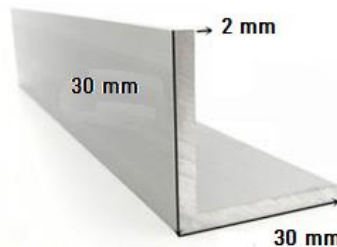
Peso total = 25Kg X N° de paneles = 150 Kg

#### 3.1.4 Peso de la estructura del módulo

##### Cálculo Del Peso Del Cuadro

El material del que se propone para el diseño de la estructura de soporte de los paneles FV, es el aluminio.

Para el cuadro se elige el Aluminio angular de 2.0 mm de espesor, para el marco de medidas: 30x30x2 mm; armado con tornillos.



**Figura 34:** Detalle de perfil tipo “L” de aluminio

Fuente: JASOLAR

Para la obtención del peso de la estructura, se recurre a las tablas de características de los fabricantes.

**Tabla 4:** Medidas de varillas angulares de aluminio, espesor 1.8 mm

Producto	Lado	Lado	Espesor	Peso
Angulo en L de aluminio	30 mm X	30 mm X	1.5 mm	0.237 Kg/m
Angulo en L de aluminio	30 mm X	30 mm X	2 mm	0.313Kg/m
Angulo en L de aluminio	30 mm X	30 mm X	3 mm	0.462 Kg/m
Angulo en L de aluminio	50 mm X	50 mm X	3 mm	0.786 Kg/m
Angulo en L de aluminio	40 mm X	40 mm X	4 mm	0.821 Kg/m
<b>Producto</b>	<b>Lado</b>	<b>Espesor</b>	<b>Peso</b>	
Platina de Aluminio	30 mm	4 mm	0.324 Kg/m	

Fuente: Alu-stock

Con una holgura de 2cm para la manipulación y el espesor del soporte.,

Datos:

Ancho:  $3 \times 1.052 + 20 = 4.272 = 3.176 = 3.18 \text{ m aprox} = 3.20 \text{ m}$

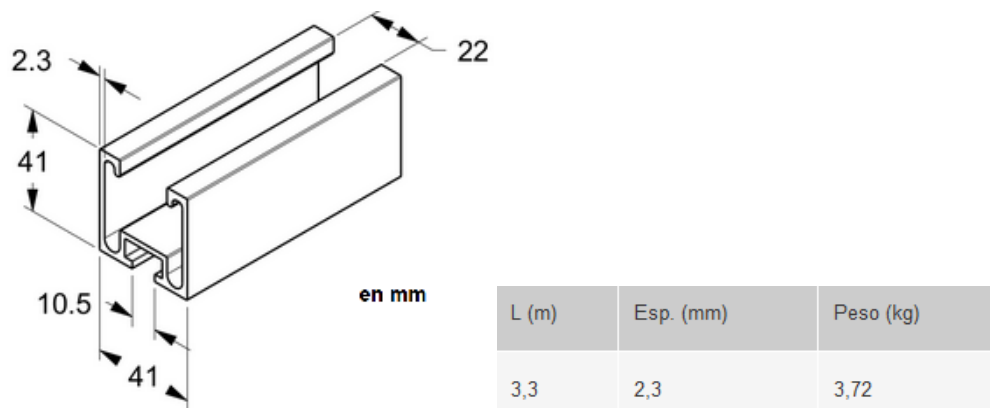
Largo:  $2 \times 2,120 + 20 = 4.272 = 4.27 \text{ m} = 4.30 \text{ m}$

Peso = 0.313 Kgf es aproximado a = 0.313 N (consideramos igual)

Peso del cuadro:  $(6.40 + 8.60) \times \text{peso} = 15 \text{ m} \times 0.313 \text{ Kg} = 4.7 \text{ Kg-m}$

Peso transversal del eje azimutal

Para el eje azimutal transversal se utiliza dos perfiles de aluminio (de 3.72 Kg cada uno) y 01 tubo de 50 mm de diámetro de acero inoxidable SS304 de 50 mm (2"), 1.7 mm Peso 3.37 Kg/m, con dos rodamientos. Los perfiles son ajustados con pernos DAP y muelles largos para el ensamble, atravesando el tubo.



**Figura 35:** Vista en perfil

Elaboración propia



**Figura 36:** Disposición del travesaño medio. 2 perfiles y 1 tubo de 50 mm ø

Elaboración propia





**Tabla 5:** Diámetros de tubos de aluminio 4.1x4.1 mm x 2.3mm

Diámetro de Tubos										
Dmax (mm)	22	30	35	40	50	65	75	90	100	120
Elaboracion propia										

Peso del eje azimutal =  $2x \text{ ancho} \times \text{peso} = 2x3.2x 3.72 \text{ kg/m} = 23.8 \text{ Kg}$

Peso de los cojinetes=  $2x0.80 \text{ Kg} = 1.60\text{Kg}$ .

### **Peso del eje horizontal**

Se elige para el eje transversal una platina de acero inoxidable de 40 mm (1 ¼")x 2 mm.

Peso 3.42 Kg/m. / SS304.sujetado con dos bridas.

Peso del transversal  $3.18 \times 3.42 \text{ Kg} = 10.9 \text{ Kg}$

Peso de las bridas:  $2x0.52 \text{ Kg} = 1.04 \text{ Kg}$ .

### **Peso total del tablero**

Peso total del tablero: peso de celdas + peso del cuadro + peso de los ejes azimutal + cojinetes + peso del eje horizontal + peso de las bridas+ 1% del total (para ensambles)

$= 150 + 4.7 + 23.8 + 1.60 + 10.9 + 1.04 = 192.04 \text{ Kg}$

Peso sub total =  $192.04 + 192.04 \times 0.01 = 192.04 \text{ Kg} + 1.92 \text{ Kg}$

Peso total del tablero =  $193.96 \text{ kg} = 194 \text{ Kg}$ .

Para efectos de otras cargas como el hielo o el viento, se considerará un coeficiente de seguridad de 2.5% del peso total.

Peso total = Peso total de la estructura + coeficiente de seguridad.

Coeficiente de seguridad: 2.5 %

Coeficiente de seguridad =  $194 \times 0.025 = 4.85$

Peso total =  $194 + 4.85 = 199.85 \text{ Kg} = 199\text{Kg}$

Peso total de diseño del tablero = aprox 200 Kg.

### 3.1.5 Análisis de los esfuerzos en la estructura

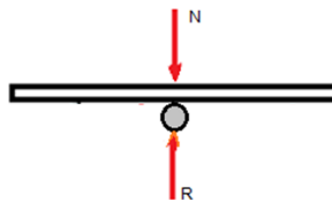
Las cargas que intervienen son:

El peso de la estructura o soporte de los paneles fotovoltaicos.

El peso de los paneles fotovoltaicos.

El peso de otras cargas como el hielo o el esfuerzo del viento no se considera para el diseño propuesto, porque está desarrollado para lugares como centros urbanos o residenciales, donde estará protegido de las heladas y los vientos fuertes.

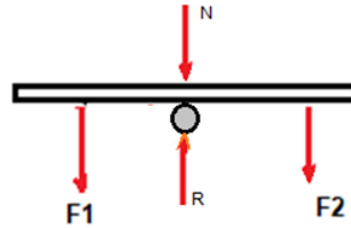
La estructura de soporte según el diseño propuesto, está sujeta sobre una viga cilíndrica hueca con dos rodamientos controlados en sus extremos, como se ve en la Figura siguiente.



**Figura 37:** Estructura del panel sobre un eje cilíndrico.

Fuente: elaboración propia

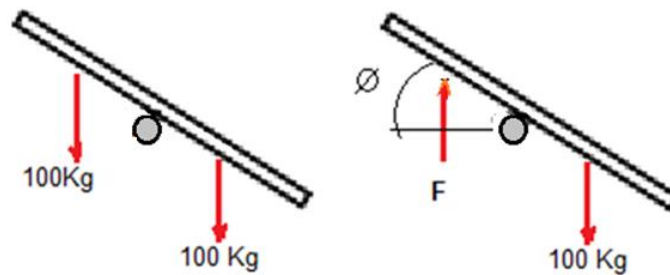
El centro de gravedad de la estructura descansa en el soporte cilíndrico, por lo que la carga total se traslada a los centros medios de cada mitad de la estructura repartiéndose en forma equilibrada en los medios de la estructura, como se aprecia en la figura.



**Figura 38:** Esfuerzos en la estructura

Fuente: elaboración propia

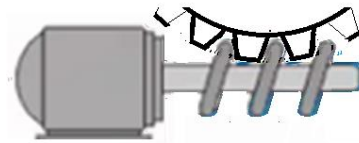
Al trasladarse el peso a las partes medias, se tiene dos fuerzas equidistantes del punto de equilibrio o centro.



**Figura 39:** Movimiento en el eje vertical

Fuente: elaboración propia

Se requiere que el panel gire en torno al eje, para que encuentre el mejor ángulo en el eje vertical, para que tenga la mejor insolación solar; esta fuerza requerida, se realizará con un motor controlado por un procesador que levantará el panel en forma gradual; el eje de este motor está conectado a un engrane con rodamientos, de 20 cm de diámetro.

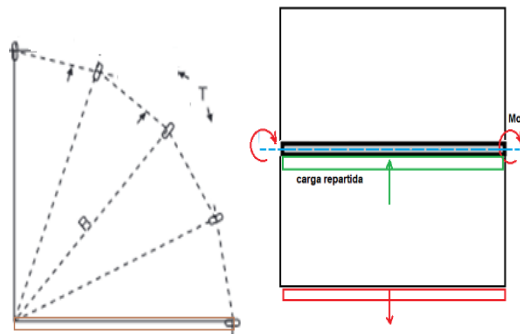


**Figura 40:** Eje del motor o husillo.

Fuente: elaboración propia

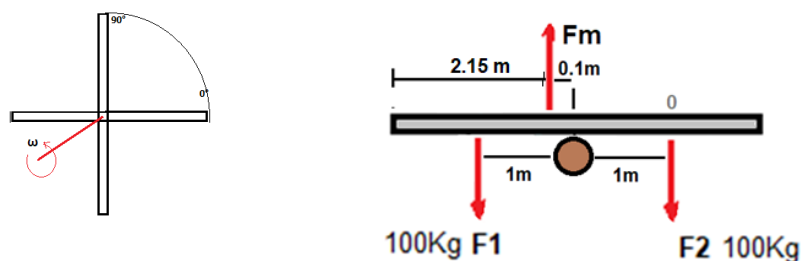
Esfuerzos en el eje vertical

La fuerza necesaria deberá actuar a 10 cm del eje principal, que haga girar el panel sobre el eje cilíndrico; con lo que el análisis de esfuerzos quedará de la siguiente forma:



**Figura 41:** Vista de perfil y frontal del tablero y sus esfuerzos.

Fuente: elaboración propia



**Figura 42:** Análisis de esfuerzos en el eje vertical,

Fuente: elaboración propia

Realizando el análisis de momentos de la carga total, se encuentra la fuerza requerida para mover la estructura, en el eje vertical, cada parte de la estructura sufrirá

una fuerza lineal equivalente a la fuerza gravitatoria producida por media estructura sobre la longitud dada por el área de la estructura (García, 2009) El momento de Inercia de la estructura y el rodamiento, ayudará a que este se mueva, para evitar el desplazamiento por gravedad, se utilizará un rodamiento con bloqueo.

Largo: 4.30 m

La sumatoria de momentos en equilibrio del eje vertical será:

$$\sum M_0 = 0$$

$$\sum M_0 = - (F_1 \times 2.15) + F_m \times 1.1 + F_2 \times 0 = 0$$

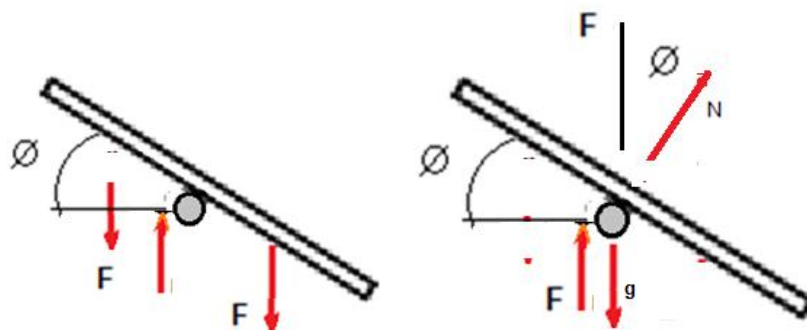
$$F_m = (100 \times 2.15) / 1.1$$

$$F_m = (100 \times 2) / 1.1$$

$$F_m = 195.45 \text{ Kgf-m}$$

Este es el esfuerzo inicial, necesario para levantar el panel desde su punto horizontal; bajo esas condiciones se dividirá la fuerza necesaria para levantar el panel en dos motores de 100 Kgf-m de fuerza cada uno.

Si el panel comenzaría desde una posición inicial con un ángulo determinado, la fuerza de los motores será menor.

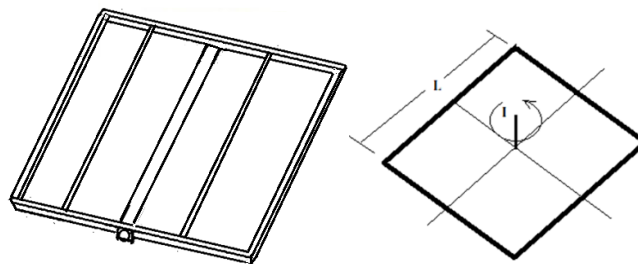


**Figura 43:** Esfuerzos en el eje horizontal.

Fuente: elaboración propia

En el caso del eje horizontal, el panel debe girar desde un ángulo cero  $0^\circ$ , dirección este, hasta un ángulo  $180^\circ$  dirección Oeste.

En el caso que el panel se encuentre en  $0^\circ$  vertical, que es el valor máximo de esfuerzo que soportará el pivote de giro de la estructura del panel; para su análisis se basa en:” En el efecto del torque con respecto a un punto de un cuerpo extendido en equilibrio sobre un eje, se produce cuando cualquier fuerza se aplica y este tiene a girar en un punto denominado “el centro de masa”. “Si la fuerza se aplica en un línea que atraviesa el centro de gravedad o de masa, el efecto del torque neto con respecto a ese punto es nulo, pero si se aplica en un punto con cualquier dirección que no pase por el centro de masa, el cuerpo comenzara a rotar respecto al punto de masa o equilibrio”. Torque, Centro de Masa y Momento Angular.(Nelson, 2016)

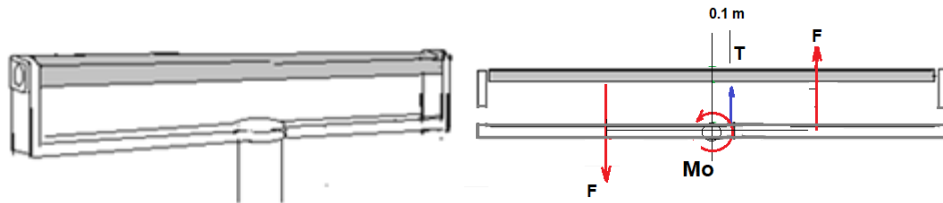


**Figura 44:** Estructura con el eje de giro horizontal

Fuente: elaboración propia

Por el efecto de fuerzas equilibradas, el motor que impulsará la estructura del panel, requerirá un un mínimo esfuerzo, por que el la fuerza dará el impulso y cuando se pone en movimiento el momento de Inercia de la estructura, ayudará a que este se mueva sin esfuerzo.

La fuerza requerida para mover una masa sobre un pivote sin fricción es:  $F/100$   
(caso de la puerta que pesa 10Kg, se abre con una fuerza de  $F/100$  en una línea que pasa a un metro de su c.g.).(Junquera, 2019)



**Figura 45:** Soporte de la estructura para el giro horizontal

Elaboración propia

Fuerza inercial necesario para mover el tablero.

La distancia al c.g. :  $3.2/2 = 1.6$  m

Díámetro del engrane horizontal es de 20 cm. La distancia al c.g. es 10cm.

$F = mg = 200\text{Kgf}$

Se observa que es una dupla de fuerzas, (igual magnitud en sentido contrario)

$T = 200/100 \times 1.6 = 3.2$  Kgf.m

Sin esfuerzo, después del primer impulso, como cuando se mueve una puerta sobre sus bisagras.

**Unidad de giro**

**Condiciones de diseño**

El diseño se ha determinado, de manera que la fuerza esté repartida en cada brazo de la estructura que soporta los paneles. Para mover en forma que varíe el ángulo verticalmente y en forma controlada, se debe disponer de un motor que permita mover y bloquear la posición alcanzada.



Para este efecto se utilizará un motor CC con (gusano) husillo o tornillo sinfín en su eje conectado a cojinete circular con autobloqueo, para evitar que se deslice cuando el motor de apague.

### **Motor**

El motor o los motores necesarios para accionar la estructura del módulo de SSFV, será de corriente continua para utilizar la misma corriente del panel fotovoltaico. Con los datos obtenidos del par motor, en el anterior acápite, se elige el motor para los actuadores del sistema.

Debe tener las siguientes condiciones:

Par motor (Torque) de 100 Kgf-m (arrastrar 100Kg efectivos o más)

Voltaje en corriente continua: 24 V

Engranaje helicoidal, con auto bloqueo, es decir, en el caso de que el motor quede sin electricidad, el eje de salida es fijo.

Reversible. Cambiar la conexión para cambiar la rotación del motor.

Caja reductora de velocidad y multiplicadora de torque. (caja de cambios)

Bajo rpm en el eje

Velocidad variable (ajustable),

### **Rodamiento de giro**

Para el impulso de giro se utiliza un tornillo sin fin (gusano o husillo), una carcasa con caja de reducción y multiplicador de torque (caja de engranajes y planetarias), que accionan un cojinete de giro o rodamiento helicoidal, (también llamado de anillo de giro o círculo de giro).

El accionamiento de giro se aplica ampliamente en que se aplican principalmente en maquinaria y vehículos que hacen mucho esfuerzo. Al adoptar el cojinete de giro el



impulso de giro puede soportar la fuerza axial, la fuerza radial y el momento de inclinación simultáneamente.

Para una mejor performance del módulo planteado; y mejorando el diseño, se puede reducir costes, utilizando las cajas de engranajes eléctricas y planetarias; porque el mecanismo de giro tiene la ventaja de ahorrar espacio en las instalaciones, capacidad de carga máxima en un diseño compacto, vida útil prolongada y menor costo de mantenimiento.

La siguiente figura muestra el sistema de transmisión con tornillo sin fin (usillo, gusano):



**Figura 46:** Rodamiento con dientes helicoidales

Fuente: <http://es.tedinbearing.com>

Este tipo de rodamiento, permite que se le acople un eje o tornillo sin fin unido al eje de un motor, para poder ser controlado como se ve en la figura.

La unidad de giro asegura de que el mecanismo de transmisión sin fin produzca un par de giro. Se puede encontrar en muchos tipos de maquinaria, como turbinas eólicas, grúas y telescopios. Pero también se utilizan ampliamente en seguidores solares para proporcionar movimiento de rotación, principalmente en dirección vertical. Estos se conocen como accionamiento de giro de un solo eje. Debido a que la transmisión giratoria utiliza un sistema de transmisión desgastado, es auto bloqueante o irreversible. Esto hace que el mecanismo de giro sea resistente al viento y otras fuerzas externas en los

seguidores. Una unidad de giro se hace combinando los engranajes, cojinetes, sellos, carcasa y otros componentes en una sola unidad.



**Figura 47:** Rodamiento de giro con eje sinfín incluido.

Fuente: [.https://es.slew-bearing.com](https://es.slew-bearing.com)



**Figura 48:** Motor y caja de reducción y multiplicador de torque

Fuente: [.https://es.slew-bearing.com](https://es.slew-bearing.com)



**Figura 49:** Bloque de control

Fuente: [.https://es.slew-bearing.com](https://es.slew-bearing.com)

### **El controlador**

Se utilizará un PLC, (Programing Logic Controller); es un controlador de motores AC y DC, compatible con cualquier dispositivo de control eléctrico, mediante pulsos de 5V, alimentado por corriente AC, para su fuente principal. El manejo de los motores con el PLC es extremadamente sencillo ya que con sólo dos pines podemos controlar la dirección alimentando los bornes de cada motor y apagando luego de efectuar su accionamiento por una señal constante del sensor que prende y apaga los motores, colocando el tablero en posición de 90° respecto a la irradiación solar.

#### **Características:**

- PLC modelo
- Compatible con motores bipolares de 2, 4, y 6 cables
- Control de corriente ajustable
- Tensión de alimentación de 24 V.

Este circuito es el encargado de procesar las señales de los foto sensores y realizar el control de mando de acuerdo a las instrucciones sobre los motores actuadores el sistema del panel de las celdas solares.

Tiene seis salidas, dos para seleccionar que motor va a mover, y cuatro para activar las bobinas de los motores para que se muevan de acuerdo a las señales de los sensores. Se determina el sentido de giro del motor por la secuencia de activación de las bobinas

### **Sensor captador**

Para la captación de la luz o iluminación en cada momento, que debe realizarse para que el tablero pueda moverse en dirección del sol, se utiliza una cápsula que contiene dos sensores basados en fotorresistencias, cada fotorresistencia está conectado a la entrada del controlador y su señal está conectado a una entrada analógica del controlador.

La programación del controlador se hace para que trabaje en forma automática por un programa que, según los impulsos del sensor, calcula la orientación del panel e inyecta una señal en los actuadores.

### **Elección de sensores**

Los sensores constan de foto resistencias. Ubicados en la parte superior del tablero.

### **Accesorios**



**Figura 50:** Interface USB a puerto rs232, para comunicar el PLC .

Fuente: <https://es.slew-bearing.com>



## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 RESULTADOS

Los resultados se presentan en los planos del diseño y en los gráficos obtenidos del módulo de seguimiento solar construido.

El seguidor solar de dos ejes consta de dos bloques principales: el bloque mecánico y el bloque de control.

El bloque mecánico consta de un soporte contiene los rodamientos unidos a un motor monofásico para el movimiento horizontal, fijos al tablero que soporta los paneles fotovoltaicos, también tiene un eje horizontal para el movimiento vertical unido su eje a un motor monofásico con los rodamientos y caja de reducción; tal como se explicó en los cálculos mecánicos.

El segundo bloque consta de un PLC, que previamente se realiza la programación, para que el sensor foto resistente, envíe la señal que hace actuar a los motores, colocando al panel en la posición perpendicular a la radiación solar.

Para el desarrollo del diseño del módulo de seguimiento solar, se han tenido en consideración, los diferentes datos y sus características sobre el uso de materiales dados por los fabricantes.

#### **Componentes del seguidor solar:**

La tabla o mesa, es el que sustenta los paneles solares.

Bloque eléctrico.

El bloque mecánico. - Comprende los mecanismos que soportan y dan movimiento de giro vertical y horizontal.



El bloque de control. - Consta de las partes del procesador; actuadores, sensores y programa.

#### **4.1.1 Bloque eléctrico**

##### **La celda solar**

Cada celda solar es de Tipo: Solar Perc Monocristalina MODELO JAM72S20 - 455W-24V. Con Panel convencional de 72 células. Garantía: 12 años. 3 Cajas en la parte trasera para los cables. Incluye los diodos de derivación.

La conexión es en paralelo, y se utiliza un único regulador de tensión, a 24 V DC, para soportar 2.5 Kw

El inversor es único, para soportar 2.5 Kw de potencia pico y una corriente de carga de 16A, de Input 24 V DC y Salida de 220 V AC.

Opcionalmente puede tener baterías de cadmio o litio para almacenar la energía (no contemplado en el estudio).

#### **4.1.2 Bloque mecánico**

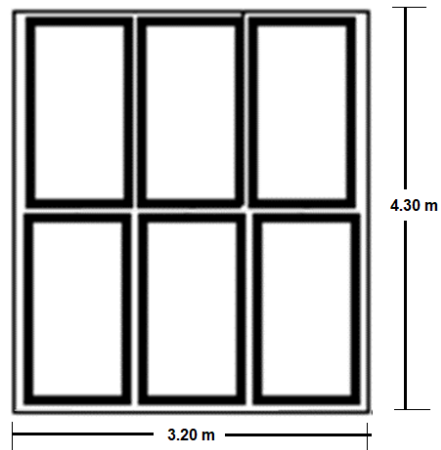
El cuadro de la estructura tiene las siguientes dimensiones:

Largo 4.30 m

Ancho 3.20 m

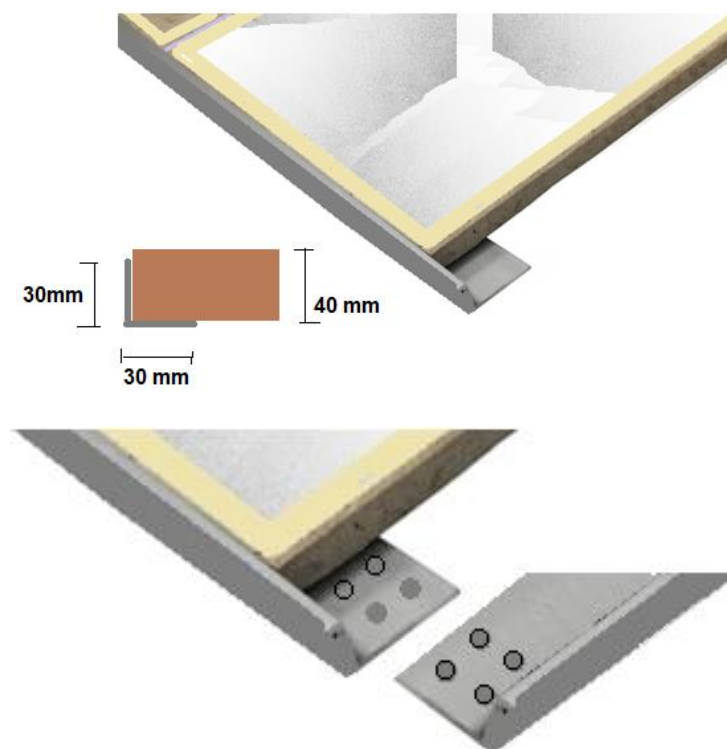
El ensamble es con tornillos

### 4.1.3 Ubicación de los paneles solares en el tablero.



**Figura 51:** Disposición de los paneles fotovoltaicos.

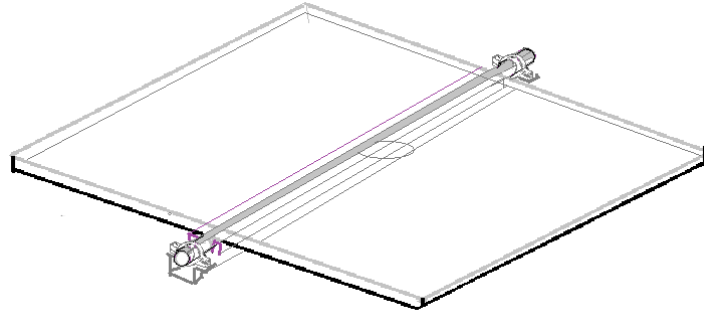
Elaboración propia



**Figura 52:** Soporte para el eje acimutal

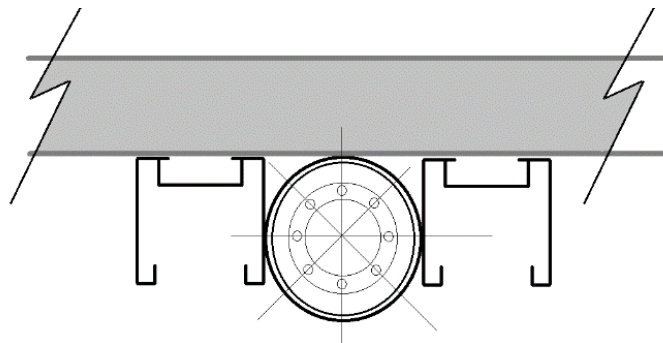
Elaboración propia

El eje azimutal transversal está compuesto de dos perfiles de aluminio y 01 tubo de 50 mm de diámetro de acero inoxidable SS304, con dos rodamientos. Los perfiles son ajustados con pernos DAP y muelles largos para el ensamble, atravesando el tubo



**Figura 53:** Detalle del perfil del soporte acimutal (movimiento vertical)

Elaboración propia



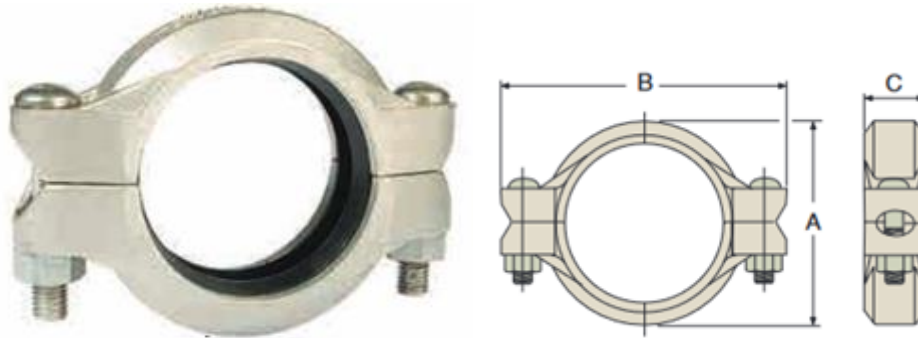
**Figura 54:** Detalle de la disposición de los perfiles y el tubo

Elaboración propia



## Detalle de la brida

Se utiliza bridas para sujetar el eje de giro horizontal.

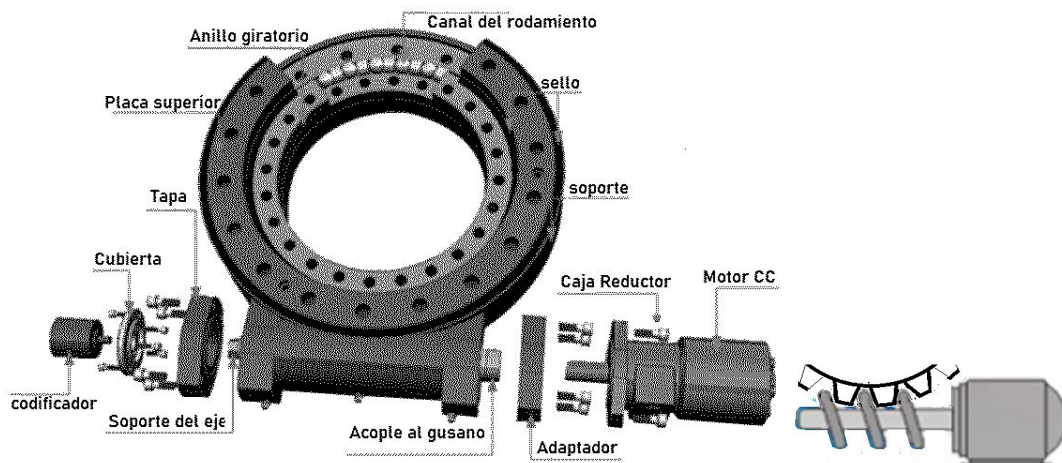


**Figura 55:** Tipo de material usado y soporte

Elaboración propia

Son de acero inoxidable 316L, capaz de soportar presiones de hasta 51.7 bar (750 psi)

Detalle del rodamiento helicoidal para los movimientos del eje vertical. (azimut)

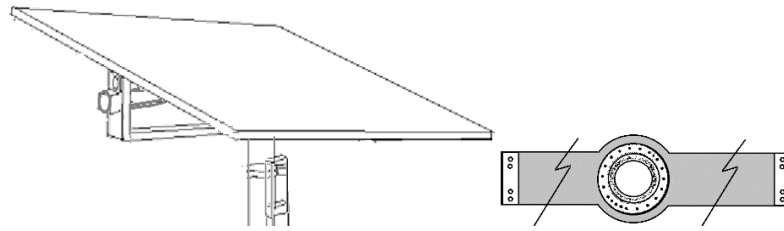


**Figura 56:** Esquema de un rodamiento con su motor de control

Fuente: <https://es.slew-bearing.com>

Semejante a rodamiento MA 29 de Slew Bearing. (<https://es.slew-bearing.com>)

### Detalle del soporte para el eje horizontal

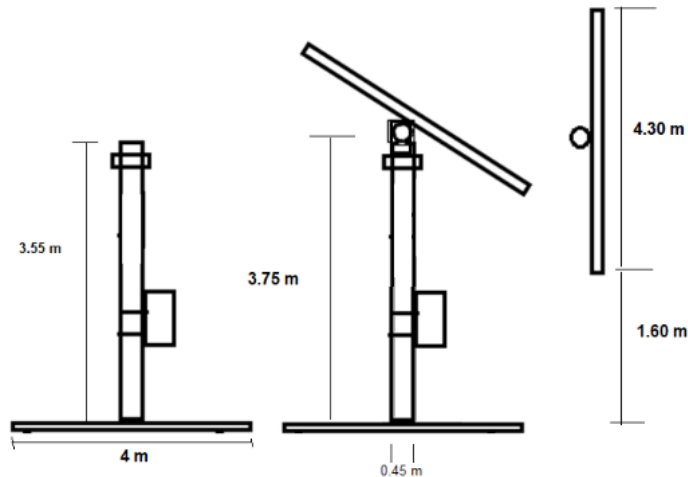


**Figura 57:** Detalle soporte del eje horizontal.

Elaboración propia

### Detalle del poste o parante

Está constituido por un tubo de 250 mm de diámetro, de acero inoxidable.



**Figura 58:** Detalle de la instalación del motor y soporte del giro horizontal.

Elaboración propia

### Elección de los motores

Motor

características:

Motor de engranaje helicoidal:

Voltaje : 24 Voltios

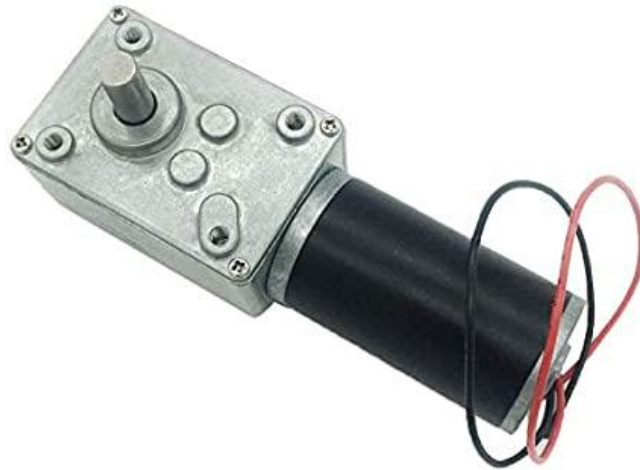
Torque : 50 Kg-cm

Capacidad de arrastre : 500 Kg.

Tipo de protección : IP20

Configuración : compacto

Velocidad en eje : 3 RPM

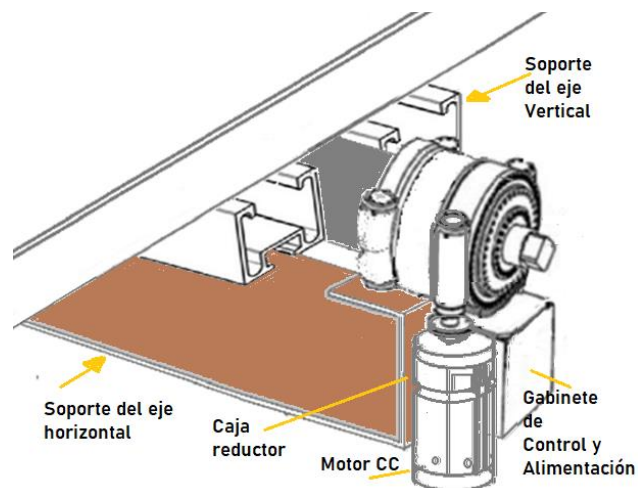


**Figura 59:** Detalle del soporte del motor

Fuente Mechanics, 2020

### Detalle del soporte del motor

Platina doblada para soporte de las cajas de cambios y otros componentes, como se ve en la figura.



**Figura 60:** Disposición final de la instalación del motor del movimiento vertical

Elaboración Propia

## Detalle del montaje del motor

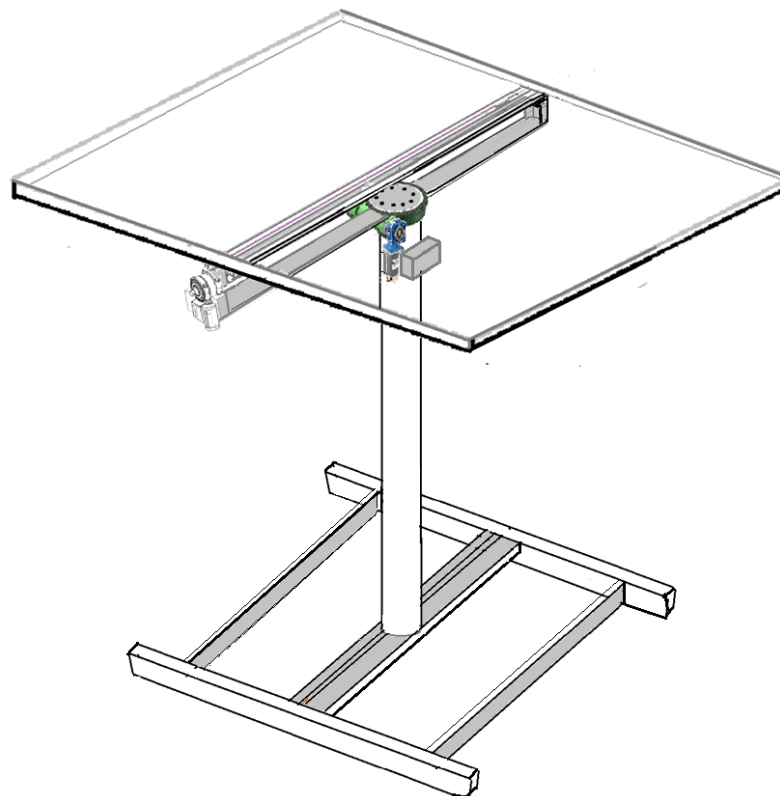


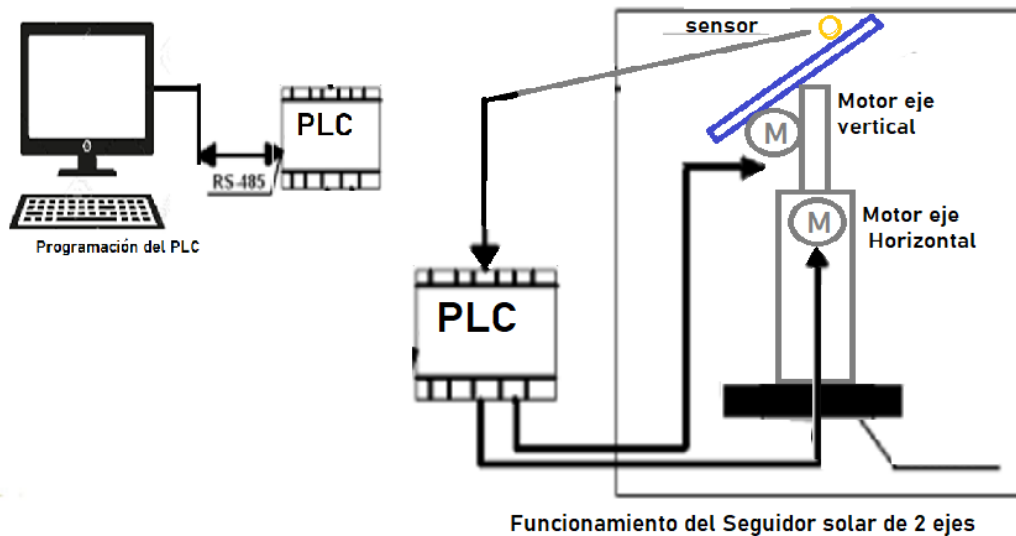
**Figura 61:** Detalle del rodamiento de giro del parante vertical

Elaboración propia

## Diseño final

En la siguiente figura, se muestra el esquema de funcionamiento final.





**Figura 62:** Esquema final del funcionamiento del seguidor solar

Elaboración Propia

## 4.2 DISCUSIÓN

El trabajo es una contribución con paneles solares a las fuentes de energía renovables; logrando eficiencias entre 25 a 30%; as tecnologías que se han diversificado para estos fines, han hecho que los costos de producción sean menores, reduciendo asi la inversión inicial y ser más económica la utilización de la energía solar.

Un panel de 2 Kw, de potencia, como se ha podido observar durante el trabajo, es una buena opción en su implementación como sistemas alternativos de mejora de la utilización de energías renovables. (Los proyectos de seguimiento solar o sun tracker en inglés, continúan al término del presente trabajo de investigación desarrollándose nuevas investigaciones e implementándose en el mercado nuevos accesorios, mejores y mas económicos.

El uso de estas tecnologías de seguimiento del sol, es conveniente para optimizar el aprovechamiento del uso de la energía solar y fomentar su uso mejorando la eficiencia energética y disminuyendo la contaminación ambiental.



## V. CONCLUSIONES

Se diseñó el modelo de seguidor solar de dos ejes, con sensores de foto resistencias, dos motores de corriente continua de 24 V, un PLC y cables o accesorios, todos elementos que se pueden encontrar en el mercado local.

Se realizó los cálculos mecánicos necesarios para sostener un conjunto de 6 paneles solares de 455W-24V. en panel convencional de 72 células y una eficiencia: 20,2% cada uno, la plataforma sostiene 150 Kg de peso de los paneles y 200 Kg de peso de la plataforma, todo el conjunto se sostiene sobre el pibote o columna que contiene los rodamientos para el desplazamiento vertical y horizontal.

Se realizó los cálculos eléctricos y electrónicos para controlar el giro horizontal y vertical de la plataforma que consta de dos motores cada uno de un par motor (Torque) de 100 Kgf-m capaz de arrastrar 100Kg efectivos más. El voltaje es de corriente continua: 24 V, conectados a un engranaje helicoidal, con auto bloqueo, la alimentación es del mismo panel fotovoltaico. En el cálculo electrónico se eligió un PLC tipo nano que tiene la función de encender los motores del eje vertical y eje horizontal cuando los sensores fotosensibles envíen la señal.



## VI. RECOMENDACIONES

La Investigación ha sido provechosa, porque se ha determinado que su construcción puede ser factible con materiales del mercado local; es de fácil diseño y se recomienda su aplicación para que pueda darse en zonas rurales, o como de emergencia, en las comunicaciones, en la defensa y la seguridad.

Su armado es sencillo y requiere un mantenimiento periódico con fin de conservar el equipo al estar expuesto a las inclemencias climatológicas.

Se ha evitado información irrelevante que no contribuye al logro del objetivo planteado.



## VII. REFERENCIAS

- Arreola Gómez, Rubisel, Quevedo Nolasco, Abel et al (2015 ) Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Instituto Internacional en Biosistemas Sustentables A. C. Texcoco, Estado de México.
- Canaza Mamani, Uber Carlos (2015) Diseño y Construcción de un Seguidor Solar Automático aplicado a un Panel Solar Comercial en la Escuela Profesional Ingeniería Mecánica Eléctrica – Puno. Tesis: Ingeniero Mecánico Electricista. Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica y Sistemas, Universidad Nacional del Altiplano.
- Cuenta Luque, L. W. (2017) "Diseño y simulación de un sistema energético fotovoltaico con control de seguimiento del punto de máxima potencia para proveer energía eléctrica eficiente en la región de Puno" Tesis: Ingeniero Electrónico. Escuela Profesional De Ingeniería Electrónica, Facultad De Ingeniería Mecánica Eléctrica, Electrónica Y Sistemas, Universidad Nacional Del Altiplano.
- Fuentevilla, J. S. (2012). “ Diseño Y Construcción De Un Sistema De Seguimiento Fotovoltaico”. pp 98.
- Guardado Gutiérrez Domingo Heriberto, Rivera Chávez, Víctore Ulises (2012). Implementación de seguidor solar en dos ejes para el sistema fotovoltaico de la escuela de Ingeniería Eléctrica De La Ues. Facultad De Ingeniería y arquitectura. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Universidad De El Salvador.
- García Reyes Pedro David, Peñate Santos Rafael Antonio (2016) Implementación de un seguidor solar en eje Horizontal controlado con hardware y software de Libre distribución. Universidad de el salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de ingeniería eléctrica





- Guardado Gutiérrez Domingo heriberto, Rivera Chávez, Víctor eulises (2012.)  
“Implementación de seguidor solar en dos ejes Para el sistema fotovoltaico de la escuela de Ingeniería eléctrica de la ues”. . Universidad de el salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de ingeniería eléctrica.
- García cacho, óscar (2009). Diseño de un seguidor solar. Universidad carlos iii de madrid. Escuela politécnica superior. Ingeniería industrial. Departamento de ingeniería mecánica. Recuperado de: [Http://www.alciro.org/alciro/plotter-router-fresadora-cnc\\_1/ejemplo-calculo-par-motor-sistema-lineal\\_260.htm](http://www.alciro.org/alciro/plotter-router-fresadora-cnc_1/ejemplo-calculo-par-motor-sistema-lineal_260.htm)
- García, Ó. (2009). Diseño de un seguidor Solar. pp111.
- López, P., Rosa, S. De, & Cobián, R. (2020). Sistema de seguimiento solar de un eje para aumentar la eficiencia de los sistemas fotovoltaicos bajo distintas condiciones climáticas pp 151
- Machado Toranzo Jorge, Bonzon Henríquez, Lussón Ania, Cervantes Orlando, Escalona Costaleandro, Leysdian oro carralero. (2015) Seguidor Solar, Optimizando el Aprovechamiento de la Energía Solar Revista de Ingeniería Energética vol. Xxxvi, 2/2015, mayo /agosto issn 1815-5901SciELO: <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v36n2/rie08215.pdf>
- Panel Solar (2019) Características de los paneles solares. Recuperado de: (<https://www.panelsolarperu.com/paneles-solares/295-panel-solar-315wp-monocristalino-peimar-italian.html>). Panel solar Perú.
- Sumano fuentevilla (2012) jonathan, “Diseño Y Construcción De Un Sistema De Seguimiento Fotovoltaico”. Ingeniero en Mecatrónica. Universidad Tecnológica De La Mixteca, Huajuapán de león, Oaxaca: México.
- Duque Ramírez Pablo Andrés (2017) “Guía técnica para el diseño y cálculo de engranajes para reductores de velocidad” para optar al título de: ingeniero civil mecánico.



Universidad Técnica Federico Santa María Departamento De Ingeniería  
Mecánica Valparaíso – Chile

. Patricio Enrique Rey, Víctor Gustavo Nasini, Carlos Alberto Bronzini, Ricardo Vecchio,  
Diego Alejandro Lazcano Colodrero (2012) Diseño y desarrollo de un Sistema  
De Control De Seguimiento Para La Optimización Del Uso De La Energía Solar  
(Sun Tracker), Facultad Del Ejército,  
[Http://wp.iese.edu.ar/archivos/trabajo/20jornada%20ing.%20patricio%20e.%20rey.pdf](http://wp.iese.edu.ar/archivos/trabajo/20jornada%20ing.%20patricio%20e.%20rey.pdf)

Pelayo López Jorge Arturo (2017) Comparativa entre eficiencia de un sistema  
fotovoltaico con seguimiento solar y de un sistema fotovoltaico fijo. Revista  
Iberoamericana de las Ciencias Biológicas. México.

Guardado Gutiérrez Domingo Heriberto, Victoreulises Rivera Chávez (2012).  
Implementación de seguidor solar en dos ejes para el sistema fotovoltaico de la  
escuela de Ingeniería Eléctrica De La Ues. Facultad De Ingeniería y arquitectura.  
Escuela de Ingeniería Eléctrica. Universidad De El Salvador.

[http://www.fms.pt/es/aluminio/angulo/angulo\\_1\\_aluminio.html](http://www.fms.pt/es/aluminio/angulo/angulo_1_aluminio.html)

<https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/pletinas/>

<https://www.panelsolarperu.com/paneles-solares/295-panel-solar-315wp-monocristalino-peimar-italian.html>. Panel solar peru.

<https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-ja-solar-455w-24v-monocristalino-perc>

Machado Toranzo Jorge, Bonzon Henríquez, Lussón Ania, Cervantes Orlando, Escalona  
Costaleandro, Leysdian oro carralero. ( 2015) Seguidor Solar, Optimizando el  
Aprovechamiento de la Energía Solar Revista de Ingeniería Energética vol.



Xxxvi, 2/2015, mayo /agosto issn 1815-5901SciELO:

<http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v36n2/rie08215.pdf>

Guardado Gutiérrez Domingo heriberto, Rivera Chávez, Víctor eulises (2012.)

“Implementación de seguidor solar en dos ejes Para el sistema fotovoltaico de la escuela de Ingeniería eléctrica de la ues”. . Universidad de el salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de ingeniería eléctrica.

García cacho, óscar (2009). Diseño de un seguidor solar. Universidad carlos iii de madrid.

Escuela politécnica superior. Ingeniería industrial. Departamento de ingeniería mecánica. Recuperado de: [Http://www.alciro.org/alciro/\\_plotter-router-fresadora-cnc\\_1/ejemplo-calculo-par-motor-sistema-lineal\\_260.htm](Http://www.alciro.org/alciro/_plotter-router-fresadora-cnc_1/ejemplo-calculo-par-motor-sistema-lineal_260.htm)

Junquera javier (2019) universidad de cantabria. Archivos personales de física- estática.

Recuperado de:

[https://personales.unican.es/junqueraj/javierjunquera\\_files/fisica-1/estatica.pdf](https://personales.unican.es/junqueraj/javierjunquera_files/fisica-1/estatica.pdf)

Autosolar Paneles solares monocristalino. Recuperado de: <Https://autosolar.pe/>

<paneles-solares-24v/panel-solar-ja-solar-455w-24v-monocristalino-perc>

Panel Solar (2019) Características de los paneles solares. Recuperado de:

(<https://www.panelsolarperu.com/paneles-solares/295-panel-solar-315wp-monocristalino-peimar-italian.html>). Panel solar Perú

pveurope (2018) <https://www.pveurope.eu/solar-generator/push-high-efficiency-n-type-solar-cells-and-modules>

Pillow-block (2020)\_Pillow-block-bearing.Wikimedia Commons

solar nub. Paneles Solares más eficientes 2021. De

<https://blog.solarnub.com/paneles-solares-mas-eficientes-2021/>



Enfsolar (2020) Hebei Oushang Photovoltaic Technology Co., Ltd. - ENF Solar.

Our factory is located in Hebei Province, China and covers 50000 square meters land.

Obtenido de: <https://es.enfsolar.com> 2020.

Sunflower (2020) Energía solar (paneles solares fotovoltaicos de electricidad). De

<http://www.sunflower-solar.com>

WattSun (2020) WattSun Solar Energy. Solar Panel Installation in Central. De

<https://wattsunsolar.com>

Wattsun Solar, previously Wattsun Energy, is the highest rated solar panel installation company in Orlando, FL serving all of Central Florida.

Srcsl . que es un plc y como funciona. De [https://srcsl.com /](https://srcsl.com/)

<https://www.industriasgsl.com/blog/post/que-es-un-plc-y-como-funciona>

Instructables (2021) <https://www.instructables.com/Un-Rastreador-Solar-Simple-que-Tiene-Ejes-Duales/>).

Settop Solar System (2020) Settop Solar System - Al-Top Topografía, SA.

SettopSurvey. De <https://www.al-top.com>

Carletti Eduardo J. (2016) Motores paso a paso. Características básicas. Apuntes. En [robots-argentina.com.ar](http://robots-argentina.com.ar).

Panelsolarperu (2020) Venta de accesorios solares. En:

<https://www.panelsolarperu.com/paneles-solares/295-panel-solar-315wp>

Fuente: <https://autosolar.pe/paneles-solares-24v/panel-solar-ja-solar-455w-24v-monocristalino-perc>

Junquera Javier (2019) Universidad de Cantabria. Archivos personales de Física-

Estática. Recuperado de:



[https://personales.unican.es/junqueraj/JavierJunquera\\_files/Fisica-1/estatica.pdf](https://personales.unican.es/junqueraj/JavierJunquera_files/Fisica-1/estatica.pdf)

Implementación de un seguidor solar en eje horizontal controlado con hardware y software de libre distribución.

García Reyes Pedro David, Peñate Santos Rafael Antonio

(2016) Universidad de el salvador. Escuela de ingeniería eléctrica facultad de ingeniería y arquitectura

Guardado Gutiérrez Domingo Heriberto, Rivera Chávez Víctor eulises (2012)

Implementación de seguidor solar en dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES.

García Cacho, Óscar. 2009. Diseño de un seguidor solar. Universidad carlos III de madrid. Escuela politécnica superior. Ingeniería industrial. Departamento de ingeniería mecánica.

Carletti Eduardo (2020) Motores paso a paso - Características básicas. Artículo en:

[http://robots-argentina.com.ar/MotorPP\\_basico.htm](http://robots-argentina.com.ar/MotorPP_basico.htm).

TiMOTION (2017) Los componentes internos y externos de un actuador lineal

eléctrico. Artículo. En TiMOTION Blog Noticias/Artículos

[https://www.timotion.com/es/news/news\\_content/news-and-](https://www.timotion.com/es/news/news_content/news-and-articles/general/part-1:-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F?upcls=1481189409&guid=1496375365)

[articles/general/part-1:-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F?upcls=1481189409&guid=1496375365](https://www.timotion.com/es/news/news_content/news-and-articles/general/part-1:-what-is-an-electric-linear-actuator-and-how-to-choose-it%3F?upcls=1481189409&guid=1496375365)

Junta de galicia (2020) [\\_soporte\\_cojinetes\\_y\\_rodamientos](https://www.edu.xunta.gal/portal/).

<https://www.edu.xunta.gal/portal/>

Diseño Y Construcción De Un Seguidor Solar Para Aumentar El Rendimiento Energético En Paneles Fotovoltaicos De Un Sistema De Bombeo Arrieta Morelo denis



Javier, Puello Bravo sara Yaneth. Universidad De Córdoba facultad De Ingeniería programa De Ingeniería Mecánica. Montería 2015

<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/693/Documento%20final%20Seguidor%20solar%20correcciones%203.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Diseño Y Desarrollo De Un Sistema De Control De Seguimiento Para La Optimización Del Uso De La Energía Solar (Sun Tracker) Rey Patricio Enrique, Nasini Víctor Gustavo, Bronzini Carlos Alberto, Vecchio Ricardo, Lazcano Colodrero Diego Alejandro. Facultad del Ejército, UNDEF. Argentina

<http://wp.iese.edu.ar/archivos/Trabajo%20Jornada%20UNDEF%202018%20-%20Proyecto%20UNDEFI%20307%20-%20Ing.%20Patricio%20E.%20Rey.pdf>

Sumano Fuentes Jonathan (2012) Universidad Tecnológica De La Mixteca “diseño y construcción de un sistema de seguimiento fotovoltaico”. ingeniero en mecatrónica, Huajuapán De León, Oaxaca.

Guardado Gutiérrez Domingo Heriberto, Rivera Chávez Víctor Eulises ( 2012) Implementación de seguidor solar en dos ejes para el sistema fotovoltaico de la escuela de ingeniería eléctrica de la UES. Universidad De El Salvador Facultad De Ingeniería Y Arquitectura Escuela De Ingeniería Eléctrica

Fuente: [http://www.fms.pt/es/aluminio/angulo/angulo\\_L\\_aluminio.html](http://www.fms.pt/es/aluminio/angulo/angulo_L_aluminio.html)

Fuente: <https://www.alu-stock.es/es/aluminio-industria/perfiles-normalizados/pletinas/>

Fms [http://www.fms.pt/es/aluminio/angulo/angulo\\_L\\_aluminio.html](http://www.fms.pt/es/aluminio/angulo/angulo_L_aluminio.html)

Alu-stock Perfiles de aluminio

García Cacho (2009) Diseño De Un Seguidor Solar

Nelson zamorano Hole. (2016) Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas  
Universidad de Chile)



Junquera (2019) <https://es.slew-bearing.com>

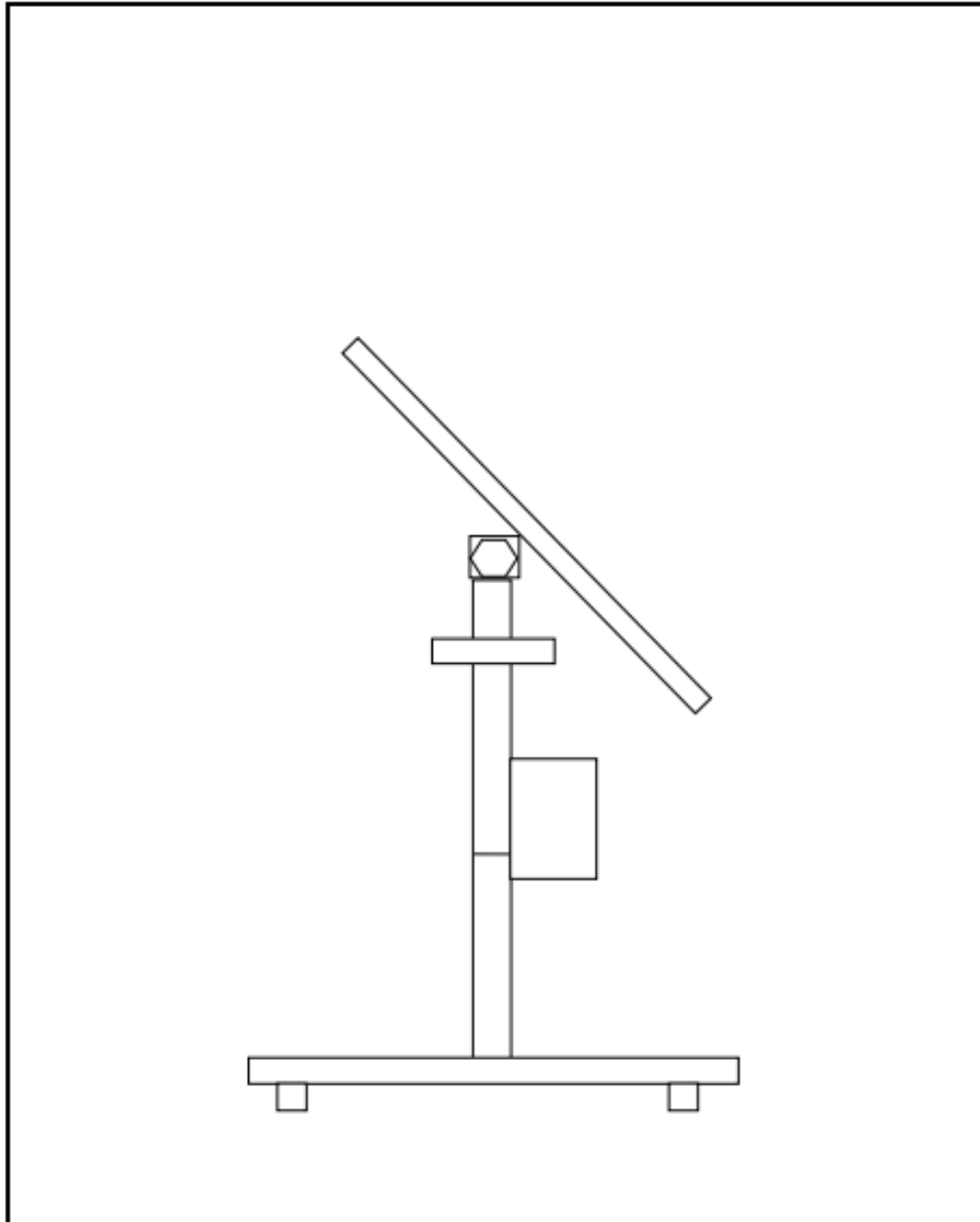
timotion (2020) Principales fabricantes de actuadores lineales eléctricos. En

<https://www.timotion.com>



## ANEXOS

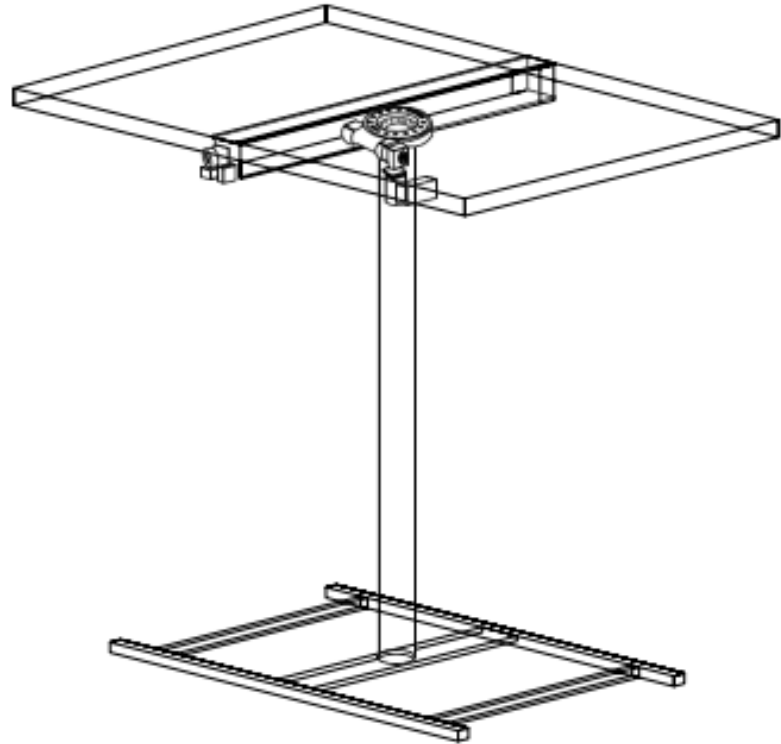
### PLANO 01:



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

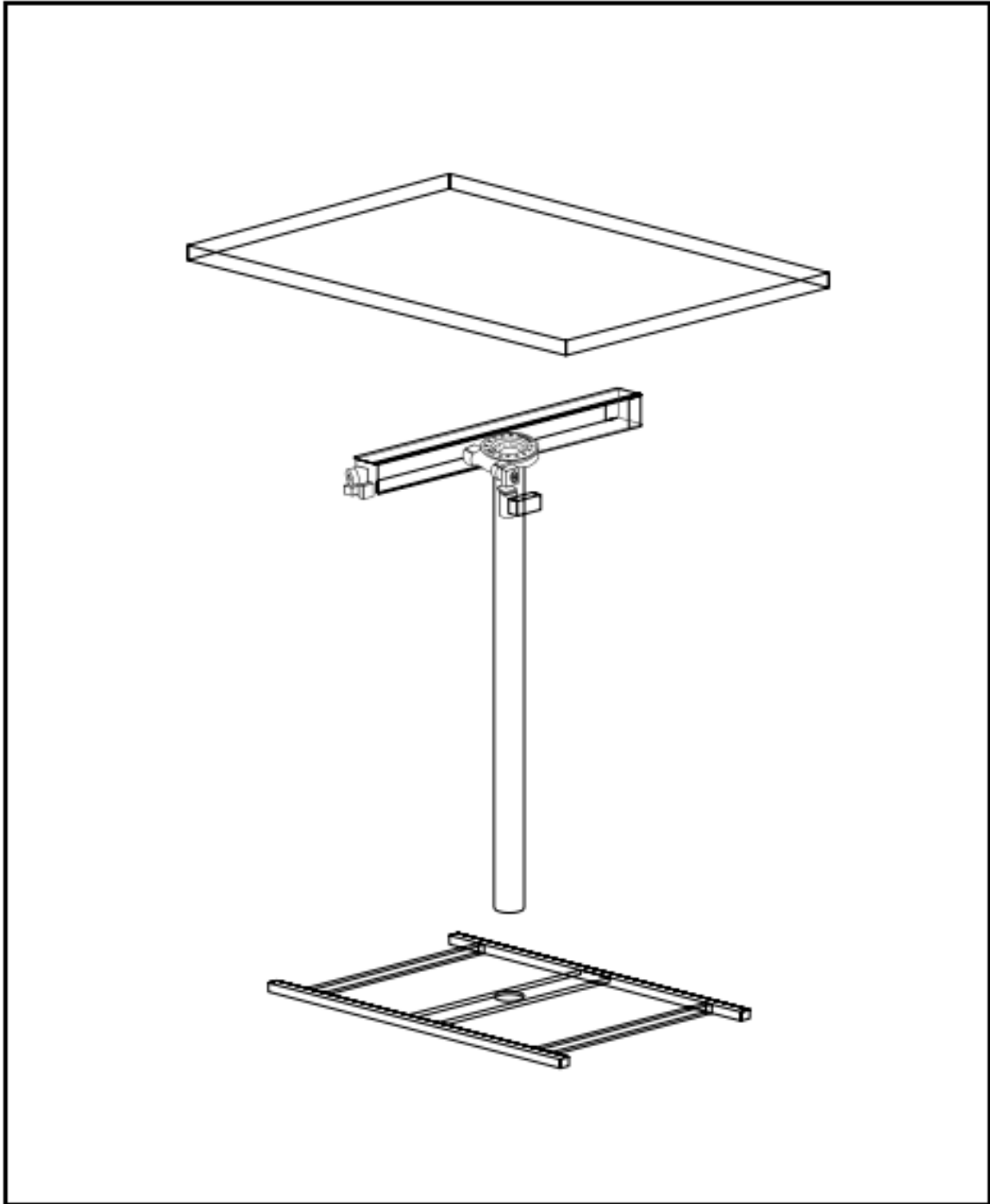
NUMERO	DESIGNACIÓN	ESCALA	
<b>01</b>	<b>VISTAS PRINCIPALES</b>	<b>SE</b>	
FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO	NOTA
24/05/2020	MAMANI PACHECO JESÚS ROBERT	MAMANI PAMPA MARIO	



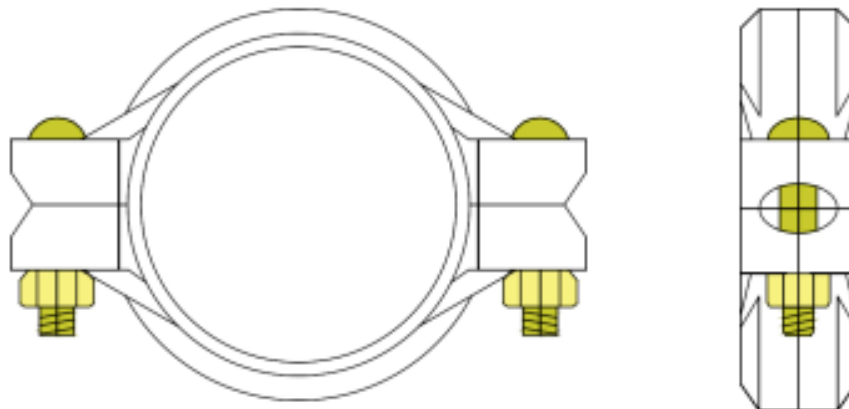


ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

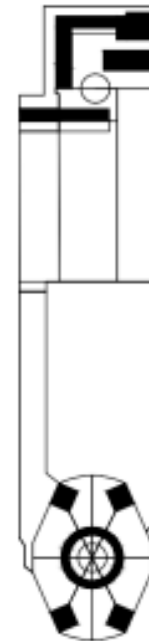
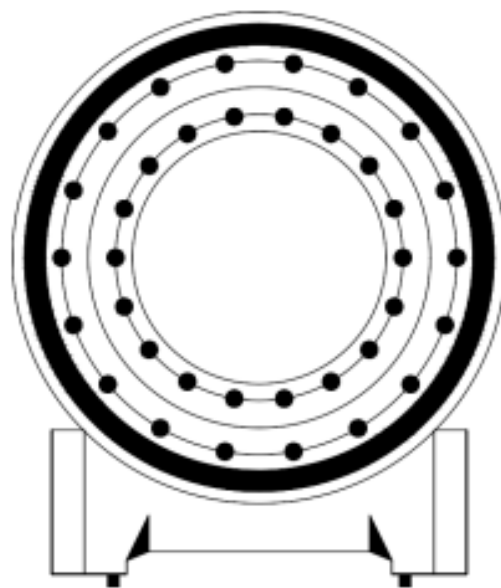
NUMERO	DESIGNACIÓN	ESCALA	
<b>02</b>	<b>VISTAS PRINCIPALES</b>	<b>SE</b>	
FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO	NOTA
24/05/2020	MAMANI PACHECO JESÚS ROBERT	MAMANI PAMPA MARIO	



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
NUMERO	DESIGNACIÓN		ESCALA
<b>03</b>	<b>VISTAS PRINCIPALES</b>		<b>SE</b>
FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO	NOTA
24/05/2020	MAMANI PACHECO JESÚS ROBERT	MAMANI PAMPA MARIO	



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			
NUMERO	DESIGNACIÓN		ESCALA
<b>04</b>	<b>VISTAS PRINCIPALES</b>		<b>SE</b>
FECHA	DIBUJADO POR	REVISADO	NOTA
24/05/2020	MAMANI PACHECO JESÚS ROBERT	MAMANI PAMPA MARIO	



**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

<b>NUMERO</b>	<b>DESIGNACIÓN</b>		<b>ESCALA</b>
<b>05</b>	<b>VISTAS PRINCIPALES</b>		<b>SE</b>
<b>FECHA</b>	<b>DIBUJADO POR</b>	<b>REVISADO</b>	<b>NOTA</b>
24/05/2020	MAMANI PACHECO JESÚS ROBERT	MAMANI PAMPA MARIO	

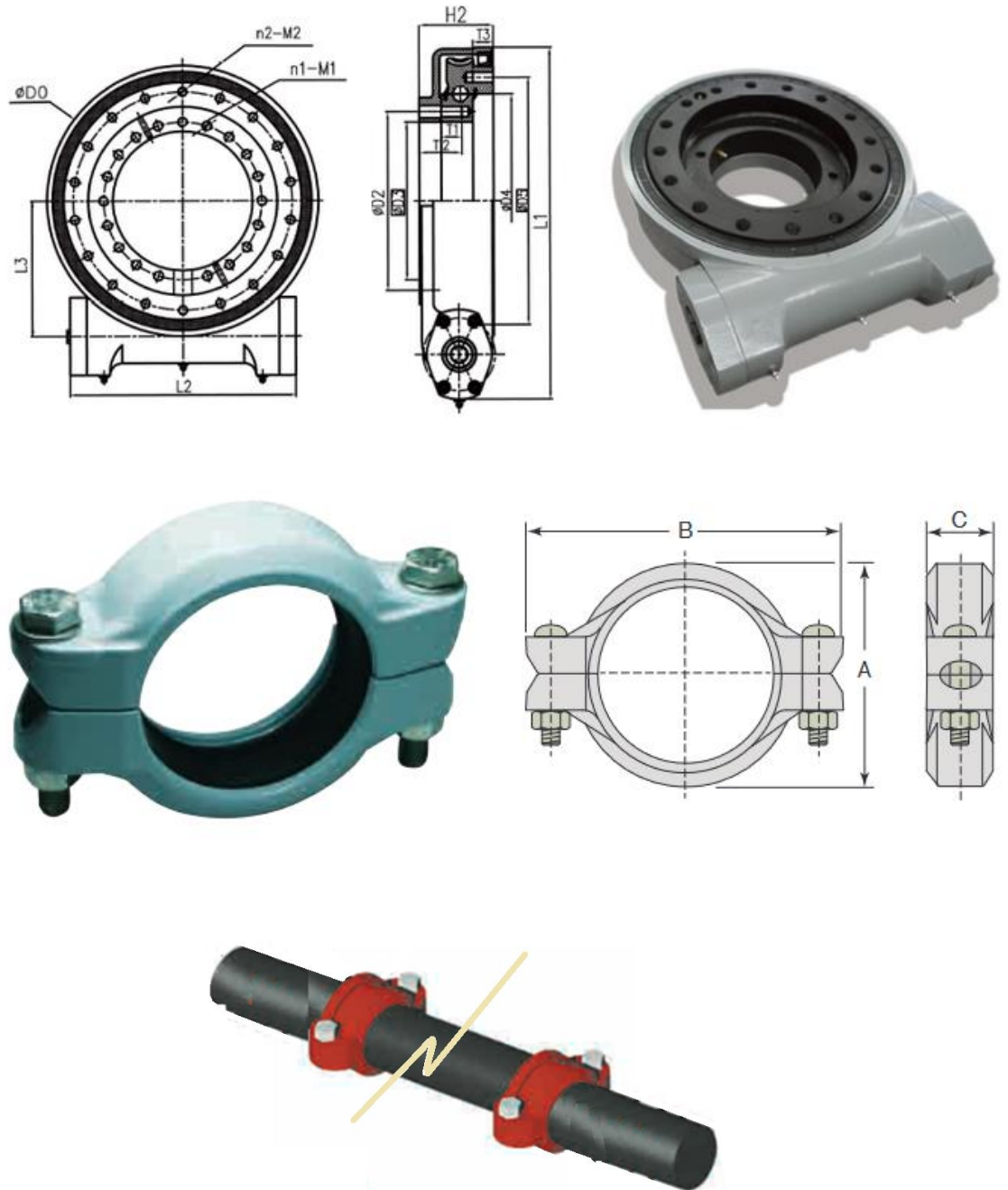
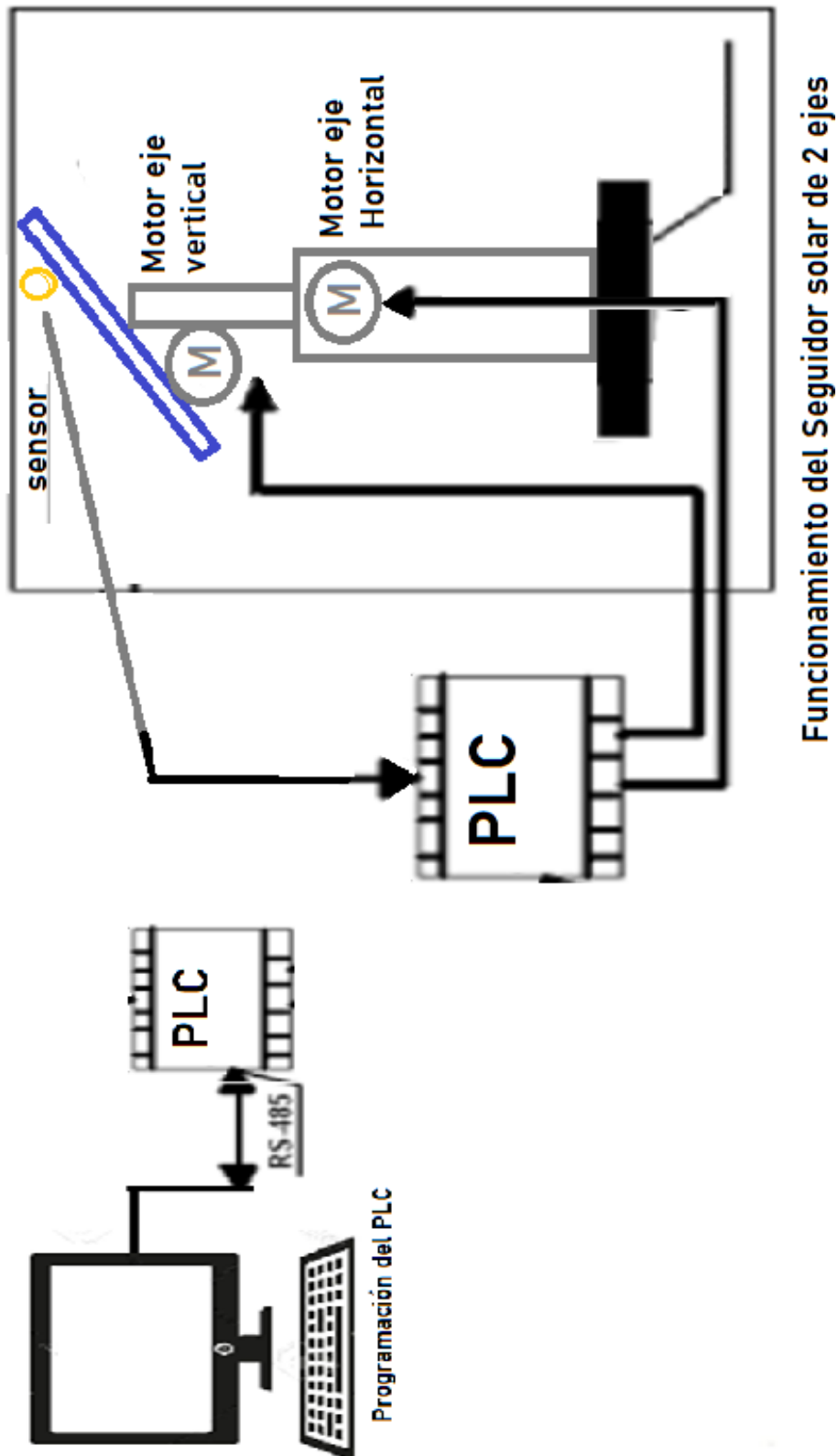


Figura: Detalle de ubicación de las bridas.



Esquema final de funcionamiento del seguidor solar de 2 ejes.