

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

Título del trabajo

Diseño e implementación de un sistema de seguimiento óptico de nubes

INGE-2796

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Mecánico

Presentado por:

Santiago Rafael Paredes Peña

Daniel Antonio Robalino López

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024

Agradecimientos

A Dios, creador del universo, que ha dado la oportunidad de prepararme para el servicio, también es mi consuelo y protección.

A mis padres, Gioconda y Fernando, a mis hermanos Daniel y Juan Carlos y a mi abuelita Bedha y demás familiares por todo el amor, el apoyo y la confianza para poder estudiar en ESPOL.

A mis compañeros y profesores de ESPOL por su acompañamiento y enseñanzas, dentro y fuera del ámbito académico.

A los doctores Juan Peralta, Ian Sosa y José Macías por el apoyo y asesoramiento para la realización de esta tesis.

Así mismo, a mi compañero de fórmula, Daniel Robalino por su paciencia y confianza en esta travesía.

Santiago Paredes

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a mi Padre Celestial, por la vida y la oportunidad de prepararme académica. A mis padres, Sonia y Marco, por su apoyo incondicional durante mi formación en cada etapa de mi vida; gracias por ser mi guía y fuente de fortaleza. A mis hermanos, Marco y Alexis, quienes han compartido conmigo cada logro.

A Carolina, mi compañera de vida, por estar a mi lado en los momentos más difíciles, por su apoyo constante, por escucharme y aconsejarme.

A mis amigos, Roberto y Juan, quienes hicieron de mi etapa universitaria una experiencia más amena.

A los doctores Juan Peralta, Ian Sosa y José Macías, cuya asesoría fueron esenciales para el desarrollo de esta tesis. Agradezco a Santiago Paredes por compartir la realización conjunta de esta tesis.

Daniel Robalino López

Declaración Expresa

Nosotros Santiago Rafael Paredes Peña y Daniel Antonio Robalino López acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 10 de octubre del 2024.



Santiago Rafael
Paredes Peña



Daniel Antonio
Robalino López

Evaluadores

MSc. José Alberto Macías Zambrano

Profesor de Materia

Dr. Juan Manuel Peralta Jaramillo

Tutor de proyecto

Resumen

El presente trabajo aborda el diseño e implementación de un sistema de seguimiento óptico de nubes, cuyo propósito es mejorar la predicción de la radiación solar disponible para la generación de energía fotovoltaica. Se desarrolló un sistema mecánico con tres grados de libertad que permite posicionar una cámara óptica para la captura y análisis de imágenes del cielo. La metodología incluyó el diseño estructural del sistema, selección de materiales y componentes electromecánicos, cálculos de esfuerzo y simulaciones en software especializado para validar la resistencia y estabilidad del sistema. Los resultados obtenidos demostraron que el seguidor de nubes es capaz de proporcionar datos confiables para el monitoreo de la nubosidad y su impacto en la producción de energía solar. Además, se realizó un análisis técnico-económico que determinó la viabilidad del sistema en términos de costo y mantenimiento. Se concluye que el dispositivo tiene un alto potencial para su aplicación en proyectos de energía renovable, con la posibilidad de integrar algoritmos de inteligencia artificial para mejorar la predicción climática.

Palabras claves: seguidor de nubes, cámara de cielo, nubosidad, radiación solar, energía fotovoltaica

Abstract

This study presents the design and implementation of an optical cloud-tracking system aimed at improving solar radiation forecasting for photovoltaic energy generation. A mechanical system with three degrees of freedom was developed to position an optical camera capable of capturing and analyzing sky images. The methodology included structural design, material and electromechanic component selection, stress calculations, and simulations in specialized software to validate the system's strength and stability. The results showed that the cloud-tracking system can provide reliable data for monitoring cloud coverage and its impact on solar energy production. Additionally, a technical-economic analysis confirmed the system's feasibility in terms of cost and maintenance. It is concluded that the device has high potential for renewable energy applications, with the possibility of integrating artificial intelligence algorithms to enhance climate prediction.

Keywords: *cloud tracker, sky camera, cloud cover, solar radiation, photovoltaic energy.*

Índice general

Resumen	I
<i>Abstract</i>	II
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras	IX
Capítulo 1	1
1.1. Introducción	2
1.2. Descripción del Problema	2
1.3. Justificación del Problema	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.5. Marco teórico.....	4
1.5.1. <i>Radiación solar</i>	4
1.5.2. <i>Fundamentos de la Energía Fotovoltaica</i>	6
1.5.3. <i>Proyectos fotovoltaicos en Ecuador</i>	7
1.5.4. <i>Nubes y nubosidad</i>	8
1.5.5. <i>Impacto de nubosidad: Problemas y Soluciones</i>	9
1.5.6. <i>Sistemas de medición de nubosidad</i>	12

1.5.7.	<i>Cámaras de cielo</i>	12
1.5.8.	<i>Comparación con otras tecnologías relacionadas</i>	13
1.5.9.	<i>Cámara OV2640</i>	13
1.5.10.	<i>Placa de desarrollo ESP32-CAM</i>	14
Capítulo 2		15
2.	Metodología	16
2.1.	Requerimientos de diseño	16
2.2.	Criterios de diseño	17
2.2.3.	<i>Ponderación de criterios</i>	17
2.3.	Selección de alternativa	18
2.3.1.	<i>Alternativas de diseño de sistema de anclaje</i>	19
2.3.2.	<i>Alternativas de diseño de mecanismo de rotación de plataforma</i>	21
2.3.3.	<i>Alternativa de diseño de mecanismo de elevación de cámara</i>	23
2.3.4.	<i>Alternativa de diseño de mecanismo de inclinación de cámara</i>	24
2.4.	Diseño de forma	25
2.5.	Cálculos	26
2.6.1.	<i>Precálculo de cargas y dimensiones</i>	26
2.6.2.	<i>Cálculo de factor de seguridad</i>	27
2.6.3.	<i>Cálculo de brazo de sujeción de cámara</i>	28
2.6.4.	<i>Cálculo de columnas y tornillo de bola</i>	29

2.6.5.	<i>Cálculos para selección de motor para tornillo</i>	30
2.6.6.	Cálculos para motores	31
2.6.7.	<i>Cálculo para pista de rodamiento</i>	31
2.6.8.	<i>Selección de servomotores</i>	¡Error! Marcador no definido.
2.7.	Validación de resultados	34
Capítulo 3		36
3.1.	Resultados	37
3.1.1.	<i>Componentes requeridos</i>	38
3.2.	Características de componentes.....	39
3.3.	Simulación de estructura.....	40
3.4.	Análisis técnico-económico.....	46
3.5.	Manual de instalación y mantenimiento	48
Capítulo 4		49
4.	Conclusiones y Recomendaciones	50
4.1.	Conclusiones	50
4.2.	Recomendaciones	51
Apéndice A: Cotizaciones.....		54
Anexo 2 Manual de instrucciones		62
Anexo 3 Planos constructivos.....		69

Abreviaturas

CAD	Diseño Asistido por Computadora
CELEC	Corporación Eléctrica del Ecuador
DCL	Diagrama de Cuerpo Libre
ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ITSON	Instituto Tecnológico de Sonora
OMM	Organización Mundial Meteorológica

Simbología

D	Diámetro
E	Módulo de Rigidez
e	Excentricidad
m	Metro
mm	Milímetro
G	Gravedad
g	Gramos
kg	Kilogramos
Kg-cm	Kilogramo-centímetro
L	Longitud
Lb	Libras
MPa	Megapascales
N	Newtons
Nm	Newtons-metro
P	Carga Axial
RPM	Revoluciones por minuto
W	Peso
W	Watts
α	Ángulo de visión
η	Eficiencia
σ	Esfuerzo axial
τ	Esfuerzo cortante

Índice de figuras

Figura 1	Reflexión de haz de luz sobre superficie reflectante plana	4
Figura 2	Radiación difusa sobre una superficie irregular	5
Figura 3	Esquema de la refracción de un haz de luz	6
Figura 4	Esquema de funcionamiento de una celda fotovoltaica	6
Figura 5	Mapa de potencial de generación eléctrica solar en Ecuador.....	8
Figura 6	Balance de radiación solar en la atmósfera	11
Figura 7	Imagen referencial de la cámara OV2640 120°	14
Figura 8	Imagen referencial de la placa ESP32-CAM	14
Figura 9	Diagrama de flujo del proyecto integrador.....	16
Figura 10	Boceto de sujeción mediante Unión libre mediante eje roscado.....	19
Figura 11	Boceto de sistema de sujeción mediante tornillos.....	20
Figura 12	Boceto de sistema de sujeción mediante unión soldada	20
Figura 13	Boceto de sistema de transmisión por polea para rotación de base.....	22
Figura 14	Boceto de sistema de transmisión directa para rotación de base.....	22
Figura 15	Boceto de Alternativa 1 basado en un tornillo sin fin	23
Figura 16	Boceto de Alternativa 2 basado en un sistema de cremallera y piñón	24
Figura 17	Boceto de sistema de inclinación	25
Figura 18	Representación tridimensional del diseño de forma.....	25
Figura 19	Diagrama dimensional de soporte de cámara.....	27
Figura 20	D.C.L. del brazo	28
Figura 21	D.C.L. de columna	29
Figura 22	Representación tridimensional del diseño del prototipo	37
Figura 23	Mallado de brazo de sujeción	42

Figura 24 Mallado realizado al conjunto de sujeción de la cámara, tornillo de bolas y pista de rodamiento	42
Figura 25 Resultado de esfuerzos en el brazo de sujeción de cámara	43
Figura 26 Resultado de esfuerzos en el tornillo de bolas y barra guía	43
Figura 27 Resultado de deformación en soporte de cámara y pista de rodamiento.....	44
Figura 28 Resultado de esfuerzo máximo en soporte de cámara y pista de rodamiento	44

Índice de tablas

Tabla 1 Escala para registro de la nubosidad.....	9
Tabla 2 Matriz de selección de alternativas	18
Tabla 3 Matriz de selección de sistema de anclaje	21
Tabla 4 Matriz de selección de sistema de rotación de la cámara	23
Tabla 5 Matriz de selección de sistema de inclinación de cámara.....	24
Tabla 6 Materiales Requeridos para la implementación del seguidor de nubes	38
Tabla 7 Características del tornillo sin fin seleccionado.....	39
Tabla 8 Características mecánicas de componentes estructurales	39
Tabla 9 Características de motores seleccionados	40
Tabla 10 Resultados del mallado del brazo de cámara	40
Tabla 11 Resultados del mallado del conjunto de soporte, pista y tornillo	41
Tabla 12 Comparación de resultados simulados con resultados calculados.....	45
Tabla 13 Resultado del análisis modal de vibraciones	46
Tabla 14 Resumen de presupuesto de implementación de seguidor de nubes.....	47

Capítulo 1

1.1. Introducción

La energía solar tiene una historia extensa, inicialmente aprovechada como una fuente de energía térmica. Con el tiempo, el descubrimiento del efecto fotovoltaico en 1839 por parte del científico francés Edmond Becquerel y la creación de los primeros paneles solares comerciales en la década de 1950 permitió transformar directamente la radiación solar en electricidad (González et al., 2009). Esto representó una revolución sobre la manera en que se aprovecha esta fuente de energía, tanto para aplicaciones domésticas como industriales, destacándose por su accesibilidad y por no requerir el uso de combustibles fósiles y no generar contaminación. Dado sus características, la energía fotovoltaica es esencial para cumplir con acuerdos internacionales y contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) para el 2030 (Báez & Forero, 2018).

De acuerdo con la Corporación Eléctrica del Ecuador (2024), la energía fotovoltaica presenta un alto grado de complementariedad con la producción hidroeléctrica, debido a que en época de estiaje se produce escasez de agua en la zona oriental del país y al mismo tiempo existe mayor radiación solar, que repercute en mayor producción de energía fotovoltaica en dicha zona. Sin embargo, este tipo de generación eléctrica es susceptible a intermitencias debido a diferentes factores climáticos, tales como la nubosidad, los cuales pueden provocar fluctuaciones en los perfiles de voltaje del sistema eléctrico, desbalances y sobrecargas (Karimi et al., 2016).

1.2. Descripción del Problema

La energía solar es una de las fuentes de energía renovable de alto interés en Ecuador. Una de las dificultades que presenta esta tecnología es la fluctuación debido alto índice de nubosidad en Guayaquil. Por tal razón existe la necesidad de conocer el comportamiento del movimiento de las nubes para obtener información para el dimensionamiento de plantas de energía solar para la ciudad, para lo cual la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

trabaja en conjunto con el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Actualmente, la demanda de estudios de esta variable va en crecimiento, lo que representa una oportunidad para que instituciones y empresas puedan contar con información fiable para implementar soluciones que reduzcan la dependencia de los combustibles fósiles en la generación eléctrica.

1.3. Justificación del Problema

El desarrollo de un seguidor óptico de nubes es fundamental para mejorar la comprensión y el monitoreo de fenómenos atmosféricos, lo que a su vez puede tener un impacto significativo en la producción de energía fotovoltaica y la investigación climática. En este sentido el ITSON ha desarrollado una propuesta de sistema experimental de seguidor de nubes para monitorear la dinámica de las nubes en tiempo real, facilitando la recopilación de datos precisos sobre su movimiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de seguimiento óptico de nubes para el pronóstico a corto plazo de energía solar por medio de cámaras ópticas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un sistema mecánico para el posicionamiento de cámara óptica de seguimiento de nubes.
- Realizar un análisis técnico y económico del sistema de seguimiento de nubes.
- Elaborar manual de construcción y mantenimiento mecánico estableciendo instrucciones que garanticen el correcto funcionamiento del sistema.

1.5. Marco teórico

1.5.1. Radiación solar

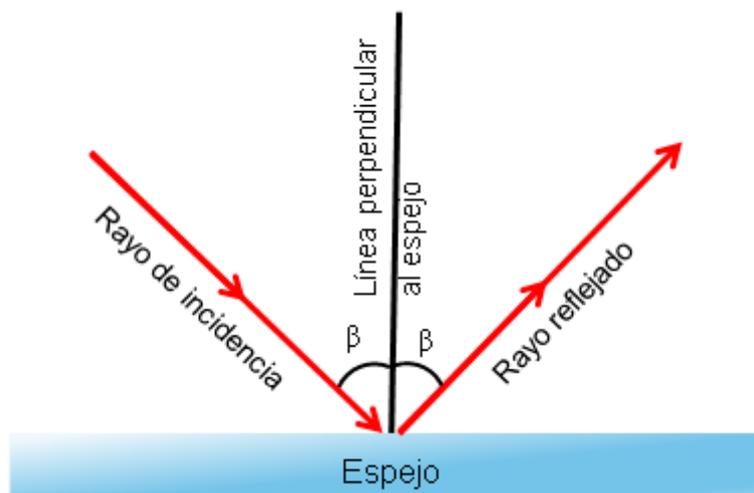
El sol es la estrella más cercana a la Tierra. Cuenta con una superficie que llega a temperatura de 6000 K debido al calor resultante de la fusión nuclear de hidrógeno en su interior (Andrades Rodríguez & Muñoz León, 2012). Una pequeña parte de dicha energía es transmitida a la Tierra a través de la radiación electromagnética, la cual está conformado por ondas de diferentes longitudes, que van desde el infrarrojo hasta los rayos gamma, incluyendo la luz visible.

Radiación directa: es aquella que se recibe desde el sol sin ser desviada por la atmósfera.

Radiación reflejada: se produce cuando los rayos de luz que se encuentran en un medio transparente chocan con una superficie y rebotan hacia el mismo medio, tal como se observa en la figura 1 (Lutgens et al., 2019).

Figura 1

Reflexión de haz de luz sobre superficie reflectante plana

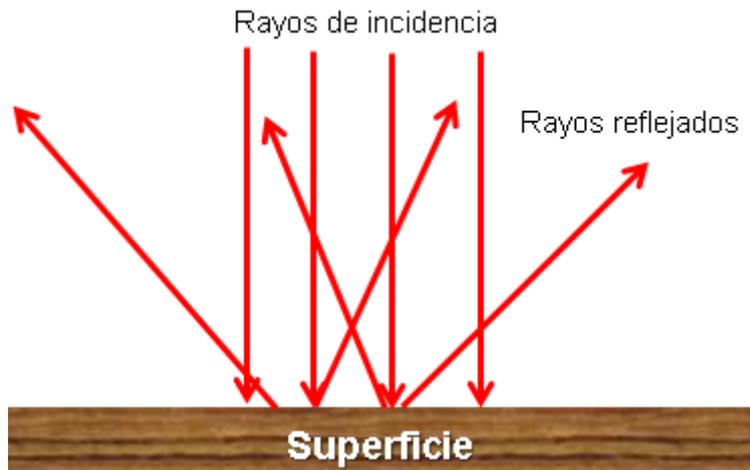


Nota. En la figura se muestra que el ángulo de entrada de un rayo de luz respecto a la perpendicular de la superficie es igual al de salida del rayo reflejado. Adaptado de Lutgens et al. (2019).

Radiación difusa: esta se produce de dos formas. La primera cuando los rayos de luz chocan con una superficie irregular y se reflejan en muchas direcciones (Véase la figura 2). Este fenómeno ocurre en la mayoría de las superficies.

Figura 2

Radiación difusa sobre una superficie irregular

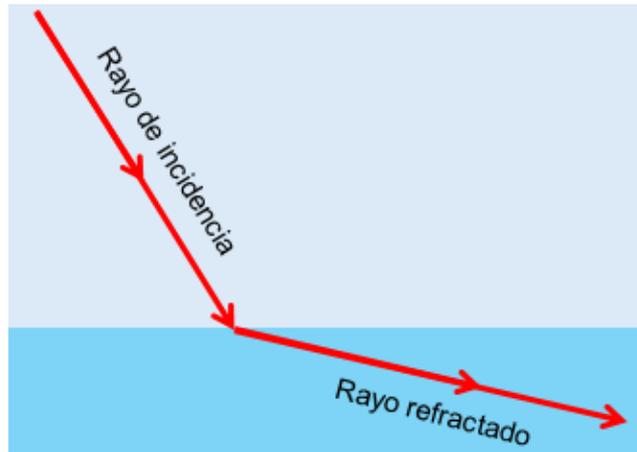


Nota. En la figura se puede observar cómo se produce la reflexión difusa de un haz de luz. Adaptado de Lutgens et al. (2019).

Otra forma se produce debido al fenómeno de refracción, el cual consiste en el cambio de dirección de un haz de luz que atraviesa un medio transparente a otro (Véase la figura 3). Un Ejemplo de este fenómeno ocurre al observar un lápiz parcialmente sumergido en un vaso con agua. En el caso de la difusión atmosférica, la luz es desviada cuando interactúa con partículas de polvo y de aire bajo el fenómeno de dispersión de Rayleigh (Andrades Rodríguez & Muñoz León, 2012). El componente de radiación difusa que llega a la superficie terrestre se conoce como radiación difusa o dispersión descendente.

Figura 3

Esquema de la refracción de un haz de luz



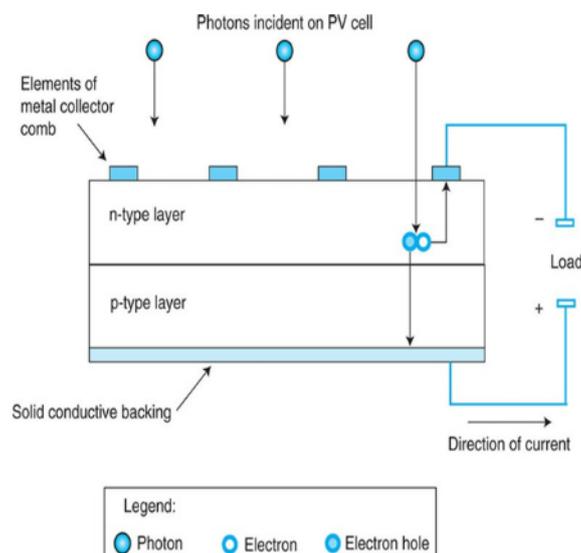
Nota. Extraído de Lutgens et al. (2019).

1.5.2. Fundamentos de la Energía Fotovoltaica

La energía fotovoltaica se basa en la capacidad de ciertos materiales para generar electricidad cuando se exponen a la luz solar (Oliveira, 2023). Este fenómeno, conocido como efecto fotovoltaico, ocurre cuando los fotones de luz inciden sobre un semiconductor de una celda liberando electrones y creando una carga eléctrica, la cual se canaliza por un circuito externo, tal como se puede observar en la figura 4 (Vaneck et al., 2016).

Figura 4

Esquema de funcionamiento de una celda fotovoltaica



Nota. Adaptado de Vaneck et al. (2016).

Los avances en esta tecnología han permitido que la energía solar fotovoltaica se posicione como una de las opciones más viables para la producción de electricidad limpia y sostenible al reducir sus costos y aumentar su eficiencia energética. De hecho, durante los primeros 8 años de la década del 2010 el costo de generación de energía fotovoltaica disminuyó en un 77%, lo que convirtió a esta tecnología en una de las fuentes de energía libre de carbono de mayor interés a nivel mundial (Báez & Forero, 2018). Esto ha propiciado su inclusión en el mercado energético de diversos países, especialmente aquellos con abundante radiación solar.

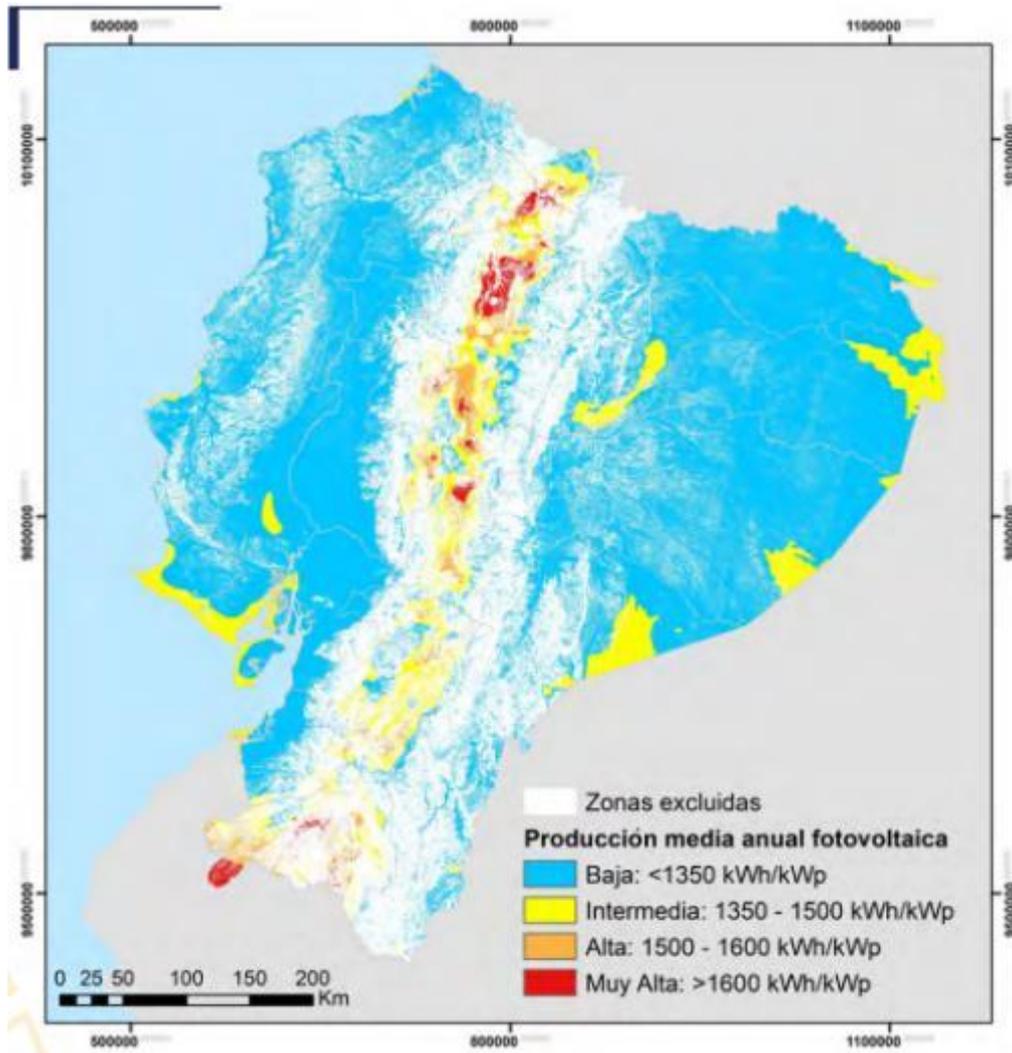
Uno de los mayores desarrollos en el uso de la energía fotovoltaica ha sido su implementación en mini-redes interconectadas, que permite abastecer de energía a zonas aisladas o con acceso limitado a la red eléctrica convencional (Maka & Alabid, 2022). Estas mini-redes solares ofrecen una solución descentralizada, capaz de satisfacer las demandas energéticas locales, y, al mismo tiempo, contribuir a la transición energética global hacia fuentes más limpias.

1.5.3. Proyectos fotovoltaicos en Ecuador

En el país existen varios proyectos fotovoltaicos en funcionamiento y en fase de planificación. De acuerdo con un estudio de potencial solar fotovoltaico realizado por la Corporación Eléctrica del Ecuador (2024), en el país existen 14 millones de hectáreas aptas para producción fotovoltaica desde. Sin embargo, el estudio determinó 7 sitios para conformar el Portafolio Priorizado de Proyectos Fotovoltaicos, debido a que juntas pueden producir más de 1000 MW de potencia. Dichos proyectos se encuentran en las provincias de Imbabura, Pichincha, Cotopaxi y Chimborazo.

Figura 5

Mapa de potencial de generación eléctrica solar en Ecuador



Nota. En el mapa se visualiza la producción media anual de energía solar en el Ecuador Continental. Extraído de Corporación Eléctrica del Ecuador (2024).

1.5.4. Nubes y nubosidad

Las nubes se definen como conjuntos de pequeñas gotas de agua, cristales de hielo, o ambos suspendidos en la atmósfera (Andrades Rodríguez & Muñoz León, 2012). Se forman debido a la condensación del vapor de agua en núcleos de condensación.

La nubosidad se define como la fracción del cielo que se cubre con nubes (Organización Meteorológica Mundial, 2008). Esta medición se clasifica en dos tipos: la total, que consiste en la fracción cubierta por todas las nubes visibles, y la parcial, que cuenta

la fracción correspondiente a un solo tipo de nube. Para el registro de esta variable se utiliza la escala presentada de la tabla 1, la cual utiliza como unidad de medida a la octa, también conocido como octavas. Cabe acotar la posibilidad de que la sumatoria de nubosidades parciales supere la nubosidad total e inclusive exceda las ocho octas.

Tabla 1

Escala para registro de la nubosidad

Cifra de clave		Significado
0	0	0
1	1 octa o menos, pero no cero	1/10 o menos, pero no cero
2	2 octas	2/10 – 3/10
3	3 octas	4/10
4	4 octas	5/10
5	5 octas	6/10
6	6 octas	7/10 – 8/10
7	7 octas o más, pero no 8 octas	9/10 o más, pero no 10/10
8	8 octas	10/10
9	Cielo oscurecido por niebla y/u otro fenómeno meteorológico	
/	No se puede discernir la nubosidad por otros motivos que la niebla u otro fenómeno meteorológico, o porque la observación no se ha realizado	

Nota. Extraído de Organización Meteorológica Mundial (2008).

1.5.5. Impacto de nubosidad: Problemas y Soluciones

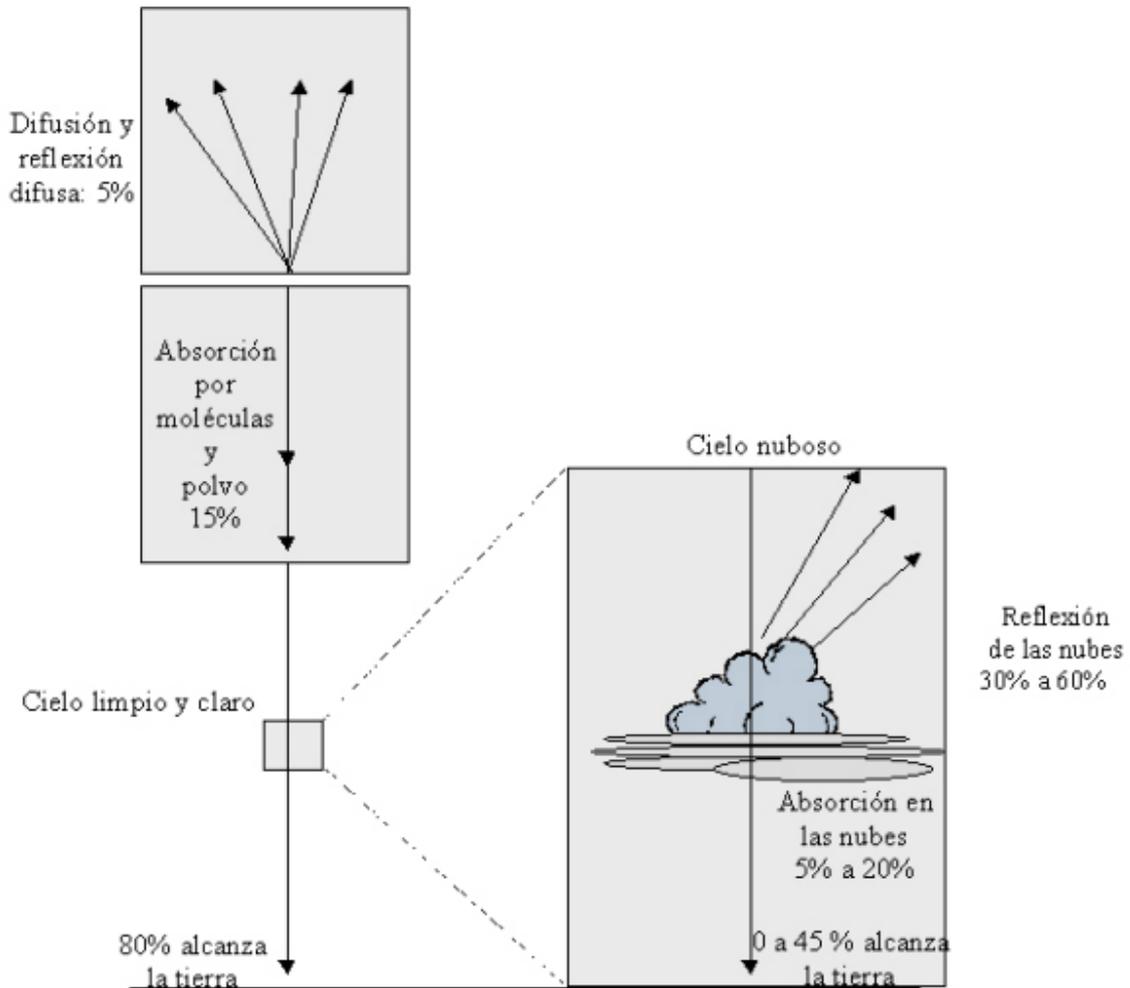
A pesar de sus ventajas, la tecnología fotovoltaica enfrenta varias limitaciones. Una de las principales es la variabilidad de la radiación solar, que no está disponible durante la noche y que también se ve afectada por condiciones climáticas como la nubosidad (Báez & Forero, 2018). Esta intermitencia genera desafíos para la producción continua de energía.

En el caso específico de la nubosidad, esta afecta la eficiencia de los paneles solares al reducir significativamente la radiación solar disponible (Boyle et al., 2021). Como se puede observar en la figura 4, en un día despejado, alrededor del 80 por ciento de la radiación solar

llega a la superficie terrestre y puede ser aprovechada por los sistemas fotovoltaicos, y el 20 por ciento restante es absorbida o dispersada por la atmósfera (Andrades Rodríguez & Muñoz León, 2012). En cambio, cuando hay cielo nublado, la energía recibida varía entre 0 al 45 por ciento. Esta reducción se debe a que las nubes reflejan entre el 30 y 60 por ciento de la radiación hacia el espacio, a su vez que absorben entre el 5 y el 20 por ciento. Dado que las condiciones climatológicas varían considerablemente según la región, es necesario realizar estudios meteorológicos detallados en la zona donde se pretenda instalar una planta fotovoltaica.

Figura 6

Balance de radiación solar en la atmósfera



Nota. En la figura se muestra la distribución de la radiación solar a través de la atmósfera con cielo nublado y despejado. Extraído de Andrades Rodríguez & Muñoz León (2012).

Para mitigar este problema se han desarrollado diversos sistemas que permiten almacenar energía con baterías para uso posterior, especialmente en horario nocturno (Boyle et al., 2021).. Por otra parte, se requiere de sistemas de predicción de producción que permitan cambiar la fuente de energía de solar por unas de respaldo tales como eólica o hidroeléctrica.

1.5.6. *Sistemas de medición de nubosidad*

De acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial (2008), la técnica más recomendada para la medición de la nubosidad es la observación visual.

no hay disponibles sensores operativos en tierra que satisfagan totalmente el requerimiento de medición de nubosidad. Sin embargo, se utilizan varias tecnologías para dicho propósito. Por ejemplo, está el uso de radiómetros espaciales en la banda visible, cuyas mediciones se complementan con imágenes en infrarrojo para estimar la nubosidad en amplias zonas. Otra tecnología utilizada son los nefobasímetros láser, los cuales permiten obtener resultados más consistentes, con mayor frecuencia e inclusive no presenta inconvenientes en la noche. Sin embargo, es dependiente del desplazamiento de las nubes dentro del campo de visión del instrumento y a pesar de aquello, sus datos podrían no representar la totalidad del cielo. Por otra parte, también se pueden utilizar piranómetros, los cuales son sensores especializados en medir la insolación. Cuando estos registran una caída en la insolación se puede intuir la presencia de nubes y por tanto su impacto en la producción de energía solar.

Por otra parte, se tiene las cámaras de cielo, de las que se detalla en la siguiente sección.

1.5.7. *Cámaras de cielo*

Las cámaras de cielo son cámaras fotográficas diseñadas específicamente para medir nubosidad por medio de la observación de la bóveda celestre mediante espejos curvos (Organización Meteorológica Mundial, 2008). Para ello, las cámaras capturan fotografías del cielo en intervalos regulares de tiempo y las envían a un computador para ser procesadas y analizadas mediante algoritmos avanzados basados en inteligencia artificial (Alegre Fernández, 2022). Sin embargo, el desarrollo de seguidores de nubes aún es limitado y

generalmente se encuentran en centros meteorológicos de gran envergadura, debido a su alto costo y complejidad tecnológica (López Mas et al., 2022).

1.5.8. Comparación con otras tecnologías relacionadas

En cuanto a las tecnologías relacionadas se tiene a los seguidores solares, los cuales son dispositivos automatizados que permiten ajustar la inclinación de los paneles fotovoltaicos de acuerdo con la posición del sol en todo momento, con el fin de maximizar la captación de radiación solar (López Mas et al., 2022). Esta tecnología ha mostrado un gran potencial en proyectos fotovoltaicos a gran escala, donde se busca maximizar la producción eléctrica en zonas con condiciones solares variables. Además, han experimentado un gran desarrollo, con diversas variantes mecánicas y electrónicas.

Al realizar la comparación con los seguidores de nubes, aunque menos desarrollados, podrían ser una herramienta clave para mejorar la precisión en la predicción de la producción energética en regiones con alta variabilidad meteorológica. Si bien estos últimos son utilizados principalmente en meteorología, su adaptación a sistemas de energía renovable podría representar una innovación significativa en el campo de la energía fotovoltaica (Boyle et al., 2021). A pesar de esta limitación, la implementación de tecnologías precisas y automatizadas, como los sistemas de posicionamiento controlados por motores de paso y tornillos de bolas, ofrece una solución asequible para pequeñas plantas fotovoltaicas o centros de investigación.

1.5.9. Cámara OV2640

La cámara utilizada en el presente proyecto es la OV2640. Este componente presenta una resolución de 2 megapíxeles (DCX, s/f). Es muy utilizada para aplicaciones de electrónica básica, en el Internet de las Cosas, sistemas de videovigilancia, entre otros usos. Esto debido a su tamaño compacto y bajo consumo energético. En la figura 6 se puede observar una imagen referencial de la cámara con sus dimensiones exteriores.

Figura 7

Imagen referencial de la cámara OV2640 120°



Nota. Imagen extraída de DCX (s/f).

1.5.10. Placa de desarrollo ESP32-CAM

ESP-32 CAM es una placa de desarrollo especializado para conexión con cámaras digitales de tamaño reducido (DFROBOT, s/f). Ofrece conexiones inalámbricas mediante Wifi y Bluetooth. Es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones de internet de las cosas, prototipado electrónico, captura de imágenes y vídeos, entre otras.

Figura 8

Imagen referencial de la placa ESP32-CAM



Nota. Extraído de DFROBOT (s/f).

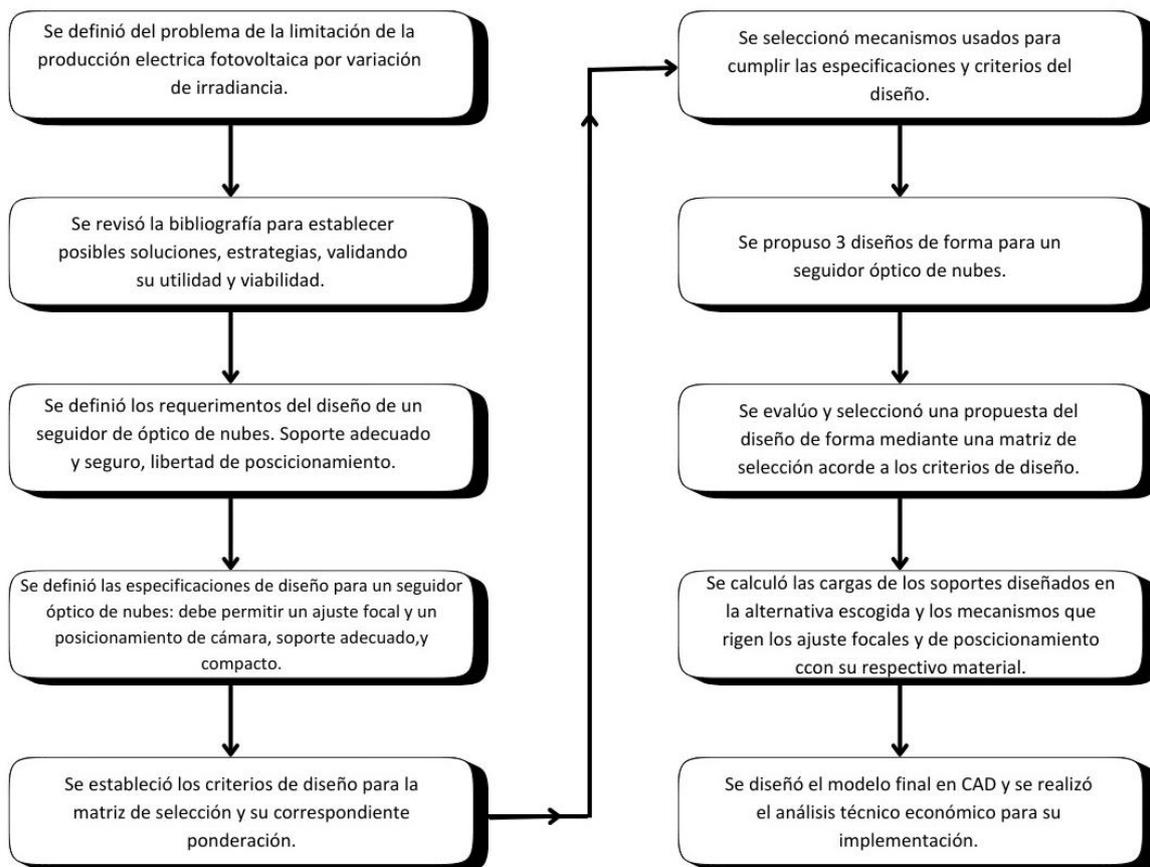
Capítulo 2

2. Metodología

El diseño e implementación del sistema de seguimiento de nubes se basó en dos componentes principales: el estructural y el electrónico. En la figura 8 se presentan las etapas implementadas durante el desarrollo del proyecto.

Figura 9

Diagrama de flujo del proyecto integrador



2.1. Requerimientos de diseño

Los requerimientos de diseño del proyecto se basaron en las necesidades del cliente para el funcionamiento del circuito.

- Permitir la instalación del circuito electrónico del sistema diseñado en el exterior.

- El equipo debe permitir el movimiento en tres grados de libertad, las cuales son desplazamiento movimiento axial vertical, rotación en la base respecto al plano horizontal y rotación en el brazo respecto al plano vertical.
- Instalación en techos o estructuras elevadas.
- Resistencia a parámetros climáticos como humedad, viento, temperatura.
- Utilización de materiales y componentes disponibles en la universidad o en el mercado ecuatoriano, procurando la mejor relación calidad-precio.
- Estructura compacta y ligera.
- Operación y mantenimiento sencillos.
- Tener la capacidad de ser adaptado para el uso de servomotores y manejo remoto.

2.2. Criterios de diseño

Para el presente proyecto se establecieron los siguientes criterios para su diseño:

- Mantenimiento: facilidad para realizar reparaciones y conseguir repuestos.
- Operatividad: el equipo debe ser fácil de operar.
- Vida Útil: la expectativa de plena funcionalidad por un largo periodo de tiempo.
- Adaptabilidad: potencial del equipo a ser modificado para atender los requerimientos de nuevos componentes y usos.
- Costos: el equipo debe ser económico en sus materiales y en sus procesos de fabricación, instalación y reparación.

2.2.3. Ponderación de criterios

Para la ponderación de los criterios se utilizó la técnica propuesta por conocida como Comparación decimal de pares, en la cual se realiza una lista de criterios, luego se compara cada criterio con los demás en una escala de 10,

Este enfoque permite jerarquizar adecuadamente las prioridades y asegurar que las decisiones se fundamenten en los aspectos más críticos del análisis.

Tabla 2

Matriz de selección de alternativas

Criterio	Mantenimiento	Operatividad	Vida Útil	Adaptabilidad	Costo	Total	Ponderación
Mantenimiento		7	6	6	6	25	0,25
Operatividad	3		7	5	7	22	0,22
Vida Útil	4	3		4	5	16	0,16
Adaptabilidad	4	5	6		8	23	0,23
Costo	4	3	5	2		14	0,14
						100	1

2.3. Selección de alternativa

Para la selección de alternativas se dividió el proyecto en 4 secciones principales, las cuales fueron:

- Sistema de anclaje del seguidor al techado
- Mecanismo para rotación de la plataforma respecto al plano horizontal
- Mecanismo para elevación de la cámara
- Mecanismo para inclinación de la cámara respecto al plano vertical.

Las alternativas se basaron en trabajos previos sobre diseño sistemas de seguimiento de nubes, seguimiento solar y soportes fotográficos comerciales. Luego, para cada sección se evaluó las alternativas de diseño siguiendo los criterios establecidos anteriormente y se seleccionó la alternativa que mejor satisfacía los requerimientos. Finalmente, se realizó el diseño de forma con las alternativas elegidas para iniciar la selección de materiales y componentes de la próxima sección.

Unos de los conceptos claves para el proyecto son los grados de libertad, que se definen como el número de mediciones independientes que se necesitan para definir de forma única su posición en el espacio para cualquier momento (Norton, 2009). Así mismo, un cuerpo rígido puede tener dos tipos de movimiento: traslación y rotación. La combinación simultáneas de las dos anteriores da como resultado un movimiento complejo.

Para la selección de alternativas se utilizó una matriz de decisión, en la cual se evaluó cada alternativa de acuerdo con los criterios establecidos anteriormente, los cuales fueron ponderados para obtener una calificación para cada alternativa. A partir de aquello, se seleccionó la opción con la mayor calificación total.

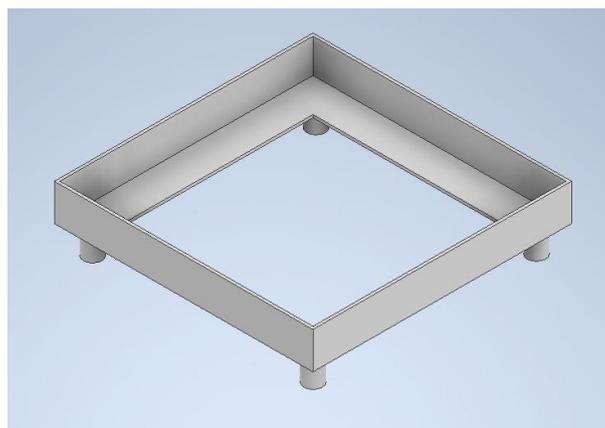
2.3.1. Alternativas de diseño de sistema de anclaje

Para el diseño de sistema de anclaje del equipo al techo existen varias alternativas utilizadas en equipos meteorológicos.

Alternativa 1: Unión libre

Figura 10

Boceto de sujeción mediante Unión libre mediante eje roscado

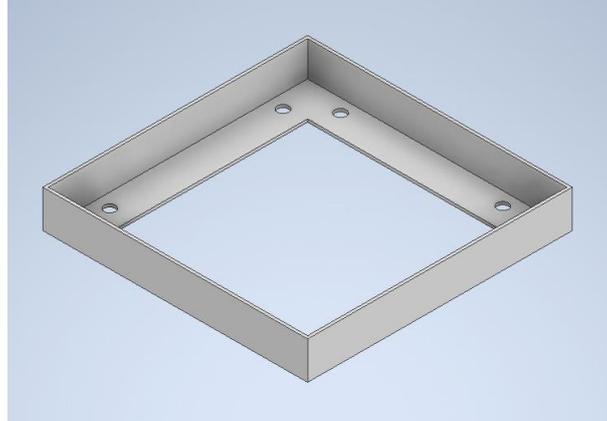


Nota. Uso de patas como soporte, unido mediante un eje roscado empotrado en la pata y una tuerca.

Alternativa 2: Unión con tornillos

Figura 11

Boceto de sistema de sujeción mediante tornillos

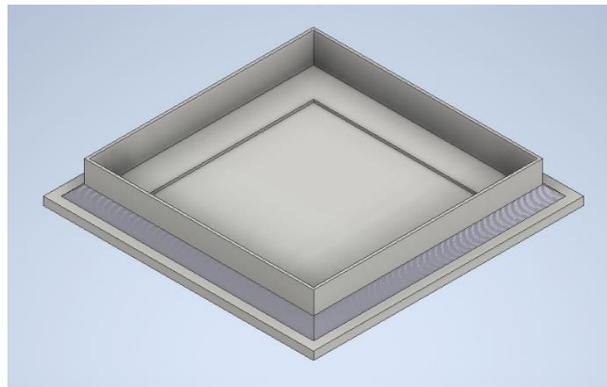


Nota. 2 pares de perforaciones en cada esquina para sujetar mediante pernos y tuercas a una base externa que cuente con las perforaciones adecuadas.

Alternativa 3: Unión soldada.

Figura 12

Boceto de sistema de sujeción mediante unión soldada



Nota. Soldar la base estructural del seguidor de nubes a una superficie en específico donde se va a montar.

Tabla 3*Matriz de selección de sistema de anclaje*

Criterios	Peso	Alternativas					
		1.1		1.2		1.3	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Mantenimiento	0,25	10	2,5	10	2,5	10	2,5
Adaptabilidad	0,23	9	2,07	10	2,3	4	0,92
Operabilidad	0,22	8	1,76	7	1,54	4	0,88
Vida útil	0,16	7	1,12	8	1,28	8	1,28
Costo	0,14	8	1,4	8	1,4	9	1,4
TOTAL	1		8,57		8,74		6,42

2.3.2. *Alternativas de diseño de mecanismo de rotación de plataforma*

Para este proyecto es importante conocer la diferencia entre mecanismo y máquina, siendo el primero un dispositivo encargado en transformar el movimiento en un patrón deseable, manejando cargas pequeñas, mientras que una máquina contiene varios mecanismos diseñados para la producción y transmisión de potencia, para lo cual funcionan con grandes cargas (Norton, 2009). En este caso, se utilizaron mecanismos para el ajuste de posición y rotación. Por otra parte, cuando se analizan mecanismos que funcionan a bajas velocidades, se lo realiza en el sentido cinemático sin tomar en cuenta las fuerzas, es decir, solo se evalúa su movimiento. En cambio, las máquinas y los mecanismos que funcionan a altas velocidades, se evalúa primero la parte cinemática y luego se evalúan las cargas estáticas y dinámicas.

Un sistema de transmisión es el encargado de transferir movimiento de un elemento a otro (Budynas & Nibsbet, 2008; Norton, 2009). Existen varios tipos de sistema de transmisión que se pueden utilizar de acuerdo con los requerimientos de diseño, tales como:

- Elementos flexibles: son aquellos que conectan dos cilindros. En esta clasificación se incluyen a las bandas y las cadenas. Sirven para transmisión a largas distancias y con

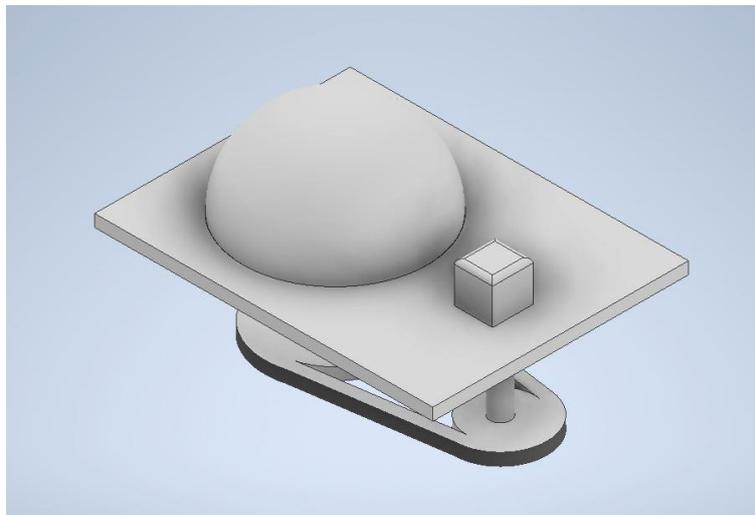
absorción de cargas de impacto, además ofrece amortiguación y aislamiento de vibraciones.

- Transmisión directa: Consiste en un sistema de rodillos impulsores sobre una pista circular dentro de la estructura del seguidor de nubes.

Alternativa 1: Elementos flexibles.

Figura 13

Boceto de sistema de transmisión por polea para rotación de base



Alternativa 2: Transmisión por rodillo con contacto directo

Figura 14

Boceto de sistema de transmisión directa para rotación de base

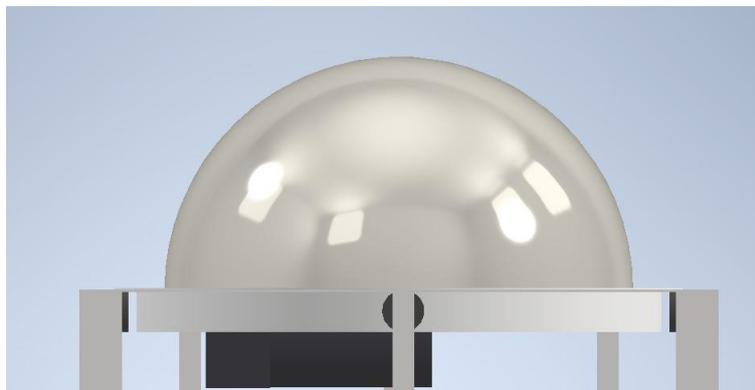


Tabla 4*Matriz de selección de sistema de rotación de la cámara*

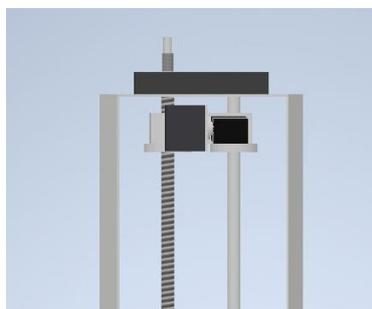
Criterios	Peso	Alternativas			
		2.1		2.2	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Mantenimiento	0,25	9	2,25	7	1,75
Adaptabilidad	0,23	5	1,15	8	1,84
Operabilidad	0,22	7	1,54	9	1,98
Vida útil	0,16	6	0,96	7	1,12
Costo	0,14	8	1,12	7	0,98
Total	1		7,02		7,67

2.3.3. *Alternativa de diseño de mecanismo de elevación de cámara*

Para la elevación de cámara se evaluó dos alternativas utilizadas comúnmente en sistemas de posicionamiento electrónico. La primera consiste en un tornillo sin fin, el cual aprovecha el movimiento rotatorio para empujar una carga de forma axial (Norton, 2009).

Por otro lado, se tiene al sistema cremallera y piñón, la cual convierte el movimiento rotatorio en lineal. Sin embargo, requiere de algún mecanismo de frenado adicional.

Alternativa 1: Tornillo sin fin.

Figura 15*Boceto de Alternativa 1 basado en un tornillo sin fin*

Alternativa 2: Cremallera y piñón

Figura 16

Boceto de Alternativa 2 basado en un sistema de cremallera y piñón

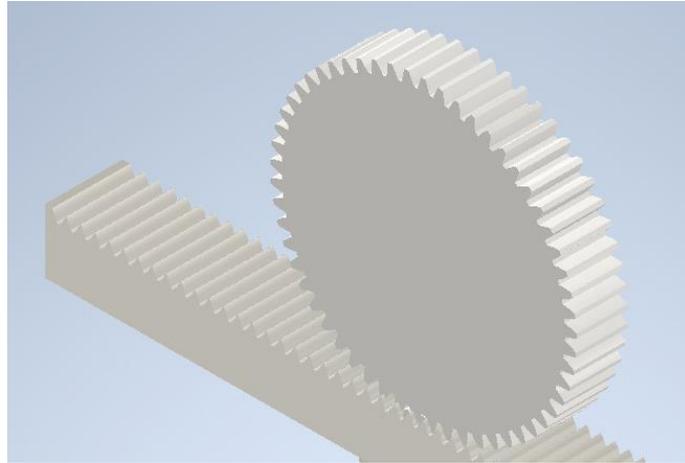


Tabla 5

Matriz de selección de sistema de inclinación de cámara

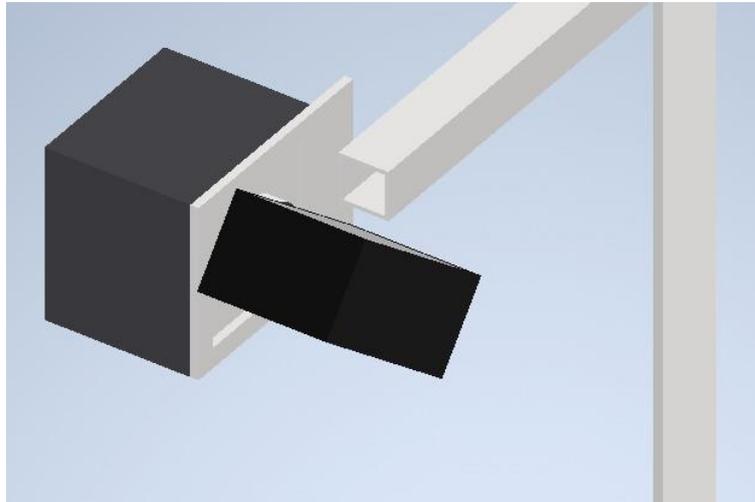
Criterios	Peso	Alternativas			
		3.1		3.2	
		Calificación	Puntos	Calificación	Puntos
Mantenimiento	0,25	8	2	8	2
Adaptabilidad	0,23	8	1,84	6	1,38
Operabilidad	0,22	8	1,76	6	1,32
Vida útil	0,16	7	1,12	9	1,44
Costo	0,14	8	1,12	7	0,98
TOTAL	1		7,84		7,12

2.3.4. Alternativa de diseño de mecanismo de inclinación de cámara

Para la inclinación de la cámara se evaluó las mismas alternativas presentadas para el sistema de giro, pero se optó que la mejor opción es la conexión directa de un árbol a un motor paso a paso, el cual controla el movimiento angular de manera precisa.

Figura 17

Boceto de sistema de inclinación



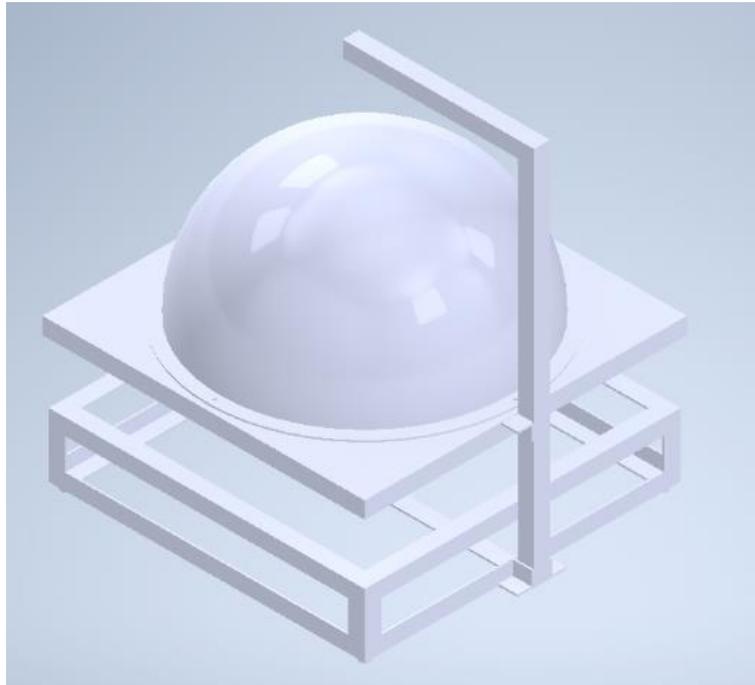
2.4. Diseño de forma

Este trabajo presenta el diseño conceptual de un dispositivo seguidor de nubes basado en cámara óptica, centrado exclusivamente en su estructura mecánica, sin incluir sistemas de control o programación. El dispositivo cuenta con una base fija que sostiene un mástil equipado con un tornillo de bola y un motor para ajustar la altura del brazo que porta la cámara. Sobre la base se dispone un espejo convexo para optimizar la visibilidad, el posicionamiento óptico y la protección de la cámara.

El brazo superior permite movimientos angulares mediante un motor con un rango de 180° o una rótula para ajustes manuales o automatizados. El diseño prioriza estabilidad estructural, precisión en los movimientos e integración eficiente de componentes ópticos y mecánicos. Se seleccionaron materiales resistentes y ligeros para garantizar durabilidad y funcionalidad en distintos entornos. Este diseño establece una base sólida para futuras etapas de automatización y control.

Figura 18

Representación tridimensional del diseño de forma



2.5. Cálculos

2.6.1. Precálculo de cargas y dimensiones

Como carga inicial se tomó en cuenta el peso de la cámara, la cual se extrajo de la hoja de datos del fabricante, la cual es de 20 gramos. A partir de dicho valor se utilizó un factor de seguridad de 1.5.

Dado que el circuito de la cámara no cuenta con protección ante agua y polvo se requirió del diseño de un portacámara, el cual se muestra a continuación:

Su peso estimado es de 17 gramos.

Para el cálculo inicial de carga se aproximará a 100 g, lo cual se traduce a u

$$W_{cámara} = m_{cámara} * g \quad (1)$$

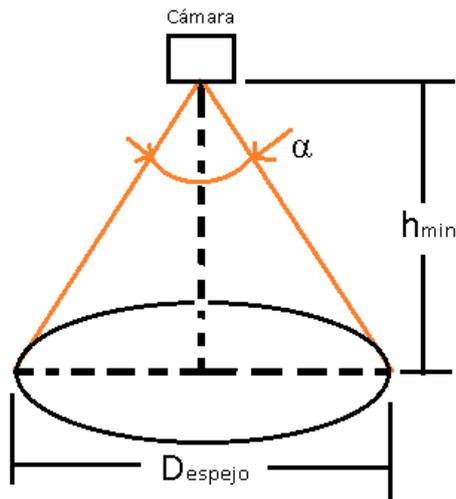
Donde g corresponde a la aceleración gravitacional terrestre, cuyo valor es 9.81 m/s²

Con ello, se obtiene un peso de 1 N,

Por otra parte, usando trigonometría se puede obtener la altura mínima que debe tener el sistema:

Figura 19

Diagrama dimensional de soporte de cámara



$$h = \frac{D_{\text{espejo}}}{2 \tan \left(\frac{\alpha}{2} \right)} \quad (2)$$

Siendo h la altura del foco, D_{espejo} el diámetro del espejo y α el ángulo de visión de la cámara. Para dimensiones del sistema, se sabe que la cámara tiene un ángulo de visión de 120° , el tamaño del espejo es de 18 pulgadas, equivalente a 457 mm. Obteniéndose una altura mínima de 400 mm

2.6.2. Cálculo de factor de seguridad

Para el cálculo del factor de seguridad (FS) se usará la ecuación:

$$FS = \frac{S_{yc}}{\sigma} = \frac{S_{yt}}{\tau} = \frac{F}{C} \quad (3)$$

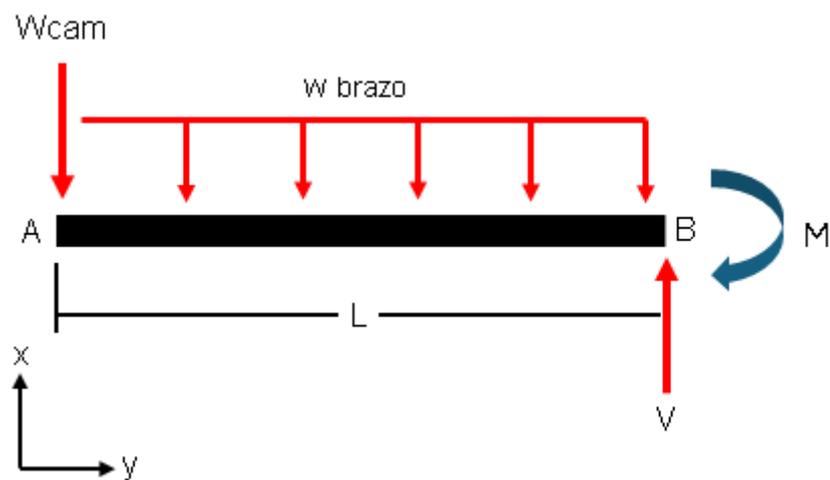
Donde S_{yc} es la resistencia a la fluencia del material y σ es el máximo esfuerzo al que está sometido el elemento. F es la fuerza aplicada y C es la fuerza máxima que puede soportar.

2.6.3. Cálculo de brazo de sujeción de cámara

El brazo de sujeción de la cámara es un elemento tipo viga debido a que soporta una carga que produce esfuerzo de flexión. Dada la distribución de cargas y de soporte, se presenta el caso de una viga en voladizo tal como se puede observar en la figura 19, correspondiente al diagrama de cuerpo libre (DCL).

Figura 20

D.C.L. del brazo



Para ello se usarán las siguientes ecuaciones basadas en la segunda ley de Newton:

$$\sum F_x = 0 \quad (4)$$

$$\sum F_y = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_{xy} = 0 \quad (6)$$

Para el cálculo de la fuerza de reacción F_{12}

$$F_{12} = W_{cámara} + w_{viga} * L_{viga} \quad (7)$$

Por otro lado, para el cálculo del momento flector M_1 se usará:

$$M_{xy} = P_{cámara} * L_{viga} + \frac{1}{2} w_{viga} * (L_{viga})^2 \quad (8)$$

Para el cálculo del esfuerzo de axial de flexión se usará la siguiente ecuación:

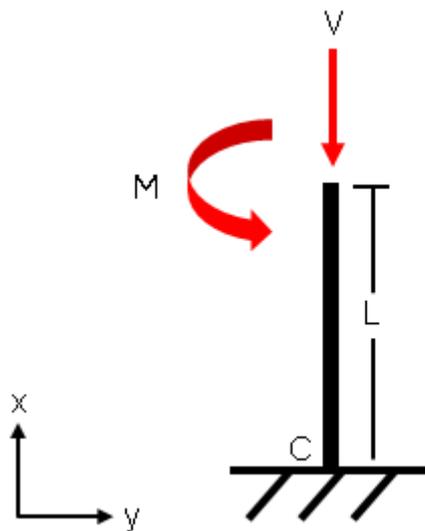
$$\sigma_c = \frac{My}{I} \quad (9)$$

2.6.4. Cálculo de columnas y tornillo de bola

En la estructura existen varios elementos del tipo columna debido a que están sometidos a cargas de compresión entre los cuales se tiene al tornillo de bola, la barra guía y las barras verticales de la estructura. Todos estos elementos están sometidos a cargas excéntricas, es decir, aquellas que son aplicadas a una cierta distancia del eje centroidal del elemento como se muestra en la figura 21, lo cual genera una fuerza axial P y un momento flector M.

Figura 21

D.C.L. de columna



Una vez conocido el valor de las cargas se debe seleccionar un perfil que resista dichas cargas. Para ello en primer lugar se debe utilizar la siguiente ecuación para determinar si la columna es un elemento corto sometido a compresión o uno largo propenso al pandeo (Budynas & Nibsbet, 2008):

$$\left(\frac{L}{k}\right)_2 = 0.282 \left(\frac{AE}{P}\right)^{1/2} \quad (10)$$

Donde el primer término representa la relación de esbeltez crítica de la columna l/k donde L es la longitud y k el radio de giro de la columna. Por otra parte, A representa el área de la sección transversal de la columna, E es el módulo de rigidez del material.

En caso de que la esbeltez sea menor al valor crítico se utilizó la siguiente ecuación para el cálculo del esfuerzo máximo de compresión:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} + \frac{My}{I} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{ec}{k^2}\right) \quad (11)$$

Caso contrario, se usó la siguiente ecuación:

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \left[1 + \frac{ec}{k^2} \sec\left(\frac{l}{2k} \sqrt{\frac{P}{EA}}\right)\right] \quad (12)$$

2.6.5. Cálculos para selección de motor para tornillo

Se usó las ecuaciones utilizadas para el cálculo de columna (sección 2.6.3) para estimar el diámetro mínimo del tornillo y se buscó catálogos. Una vez encontrado un tornillo se procedió a estimar el torque del motor que impulsa el sistema de elevación, $T_{tornillo}$, mediante la siguiente serie de ecuación ecuaciones (THK, s/f):

$$T_{tornillo} = T_1 + T_2 + T_3 \quad (13)$$

Donde T_1 corresponde al torque necesario para elevar el brazo, T_2 es el torque de precarga y T_3 es el torque requerido para la aceleración. Para calcular T_1 se utiliza la siguiente ecuación:

$$T_1 = \frac{F * p}{2\pi * \eta} \quad (14)$$

Donde p es el paso del tornillo [mm] y η es la eficiencia del tornillo con bolas, cuyos valores típicos se encuentran entre 0,9 y 0,95. Por otro lado, para calcular T_2 se usa:

$$T_2 = J * w' * 10^3 \quad (15)$$

Donde J es el momento de inercia por aceleración [$\text{kg} \cdot \text{m}$] y w' es la aceleración angular. Para calcular J del tornillo se utilizó la fórmula usada para cilindros:

$$J_{\text{tornillo}} = \frac{m * D^2}{8 * 10^6}$$

Donde m es la masa del tornillo y D es el diámetro interno del mismo.

2.6.6. Cálculos y selección de motores

En cuanto a los cálculos para la selección del servomotor se requiere calcular el torque necesario para cada uno.

Por otro lado, para obtener el valor de J para el portacámara y la pista se utilizó la herramienta de iProperties de Inventor debido a que estos elementos presentan geometrías complejas.

También se requiere conocer si el tornillo es auto bloqueante, es decir, que el tornillo no gire por la propia carga para lo que se debe cumplir con la siguiente condición:

$$\pi f d_m > p \quad (16)$$

Por otra parte, para obtener J de la cámara y su carcasa se utilizó la siguiente ecuación asumiendo que dicho conjunto es rectangular y su masa está uniformemente distribuida.

$$J_{\text{camara}} = m_{\text{cámara}} \frac{bh^3 + b^3h}{12} \quad (17)$$

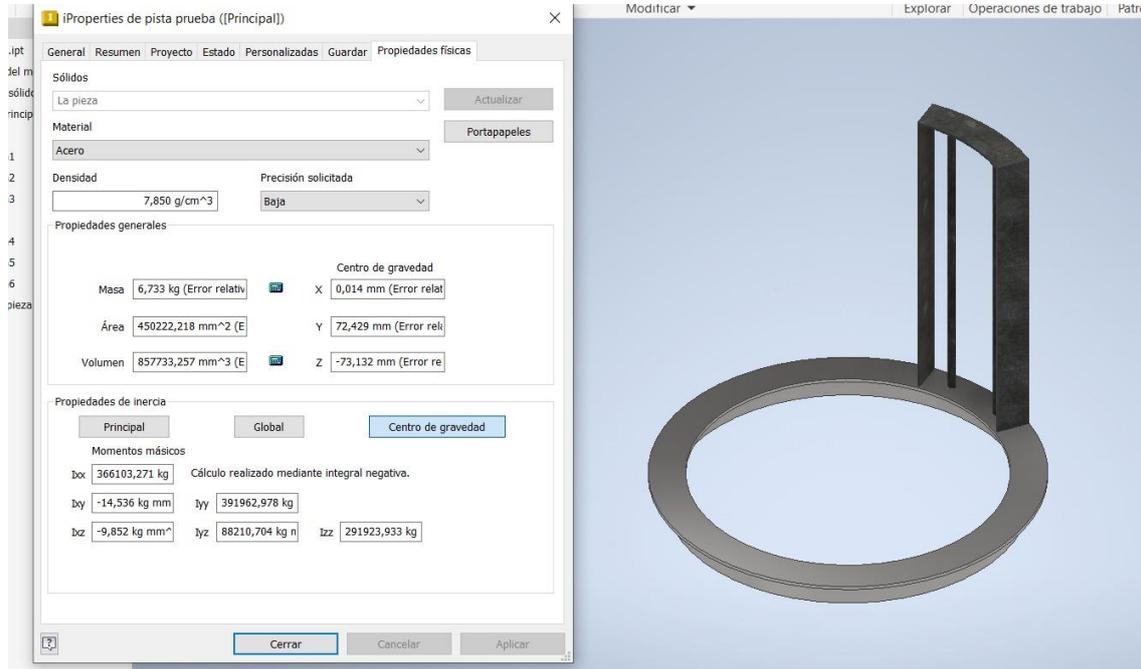
2.6.7. Cálculo para pista de rodamiento

Se utilizó la función de propiedades de Inventor, mientras que α se calculó en base a la velocidad de giro requerida que está acorde

Se calculamos la inercia rotacional:

Figura 22

Cálculo de inercia para el conjunto de pista y soporte de tornillo



Dado que la velocidad de obturación es de 1/30 nominal en las cámaras wi-fi, para evitar una baja calidad de la foto se asume que se debe mover aproximado 1 grado dentro de esos 1/30 seg.

$$\omega = \frac{1^\circ}{\frac{1}{30} \text{ seg}} = 30 \text{ }^\circ/\text{s} \quad (18)$$

$$\omega = \frac{30 \text{ grados}}{1 \text{ seg}} * \frac{\pi \text{ rad}}{180 \text{ grados}} = 0,524 \text{ rad/seg}$$

La velocidad nominal debería ser alcanzada dentro de medio segundo:

$$\alpha = 1,48 \text{ rad/s}^2$$

$$T_{pista} = (2,919 \text{ Nm}^2) \left(1,48 \frac{\text{rad}}{\text{s}^2} \right) = 1,484 \text{ Nm}$$

Como los rodamientos están en contacto en la circunferencia se cumple la relación:

$$\omega_1 d_1 = \omega_2 d_2$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1 d_1}{d_2} = \frac{1,48 \text{ rad}}{s} \frac{(497 \text{ mm})}{40 \text{ mm}} = 13,02 \text{ rad/s}$$

$$\omega_2 = \frac{6,51 \text{ rad}}{s} * \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 126 \text{ rev/min}$$

El coeficiente de fricción entre el acero y el caucho es de 0,75. Con ello se calculó la fuerza necesaria y torque de motor:

$$F = T/r = 1,484/0,497 = 3 \text{ N}$$

$$f = \frac{F}{\mu} = \frac{3 \text{ N}}{0,75} = 4 \text{ N}$$

$$\tau = F * d = 4 * (0,04) = 0,16 \text{ Nm}$$

Se incrementa dicho valor en un 40% por factor de diseño:

$$\tau = 0,22 \text{ Nm}$$

Cálculo de esfuerzo de flexión en varilla lisa donde reposa la pista:

La pista tiene una masa de 6,7 Kg, además del rodamiento que tiene un peso de 300 g. ubicados en el extremo del eje.

El largo del eje es de 32 mm, teniendo 8 soportes por lo que el peso de la pista se reparte en 8 para cada reacción en el rodamiento, es decir, 8,375 N por factores de diseño la fuerza de diseño es de 20 N.

Tanto con la velocidad límite y la capacidad de carga del rodamiento está sobrevalorado para las fuerzas de diseño (sin fuerzas radiales).

Para el esfuerzo de flexión se tomó un momento de 700 Nmm, y el momento de inercia del eje es de 39 761 mm⁴ para calcular el esfuerzo por flexión:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (19)$$

Donde M es el momento flector máximo, c el radio del eje e I el momento de inercia en z. Se reemplazan los datos y se obtiene:

$$\sigma = 0,1320 \frac{N}{mm^2} = 0,132 MPa \quad (20)$$

Tiene un esfuerzo de flexión demasiado bajo para las propiedades mecánicas del acero por lo que se determina en estas instancias que no habrá falla estática.

Tabla 6

Especificaciones técnicas de rodamiento

Capacidad de carga dinámica básica	11.9 kN
Capacidad de carga estática básica	5.4 kN
Velocidad de referencia	38 000 RPM
Velocidad límite	24 000 RPM
Clase de rendimiento SKF	SKF E

Nota. Extraído de SKF (2015).

2.7. Validación de resultados

Para la validación de los cálculos de esfuerzos y factores de seguridad se realizó un modelado y simulación de los componentes críticos de la estructura en el software ANSYS, el cual utiliza el método de elementos finitos (FEM en sus siglas en inglés) para el cálculo de las deformaciones de una estructura (Reddy, 2017). En este método se divide la estructura en múltiples elementos, en los cuales se calcula la deformación de cada elemento.

$$F = k * \delta \quad (21)$$

Donde k es la constante de

La clave de este método es realizar un mallado con el que se obtenga resultados adecuados con el menor número de elementos. Eso se halla al crear y probar mallados con incrementos del número de elementos hasta que la variación del valor de deformación de un

punto de referencia sea cercana al 5 %. Con ello se asegura datos válidos con el menor uso de recursos computacionales.

Una vez obtenida la malla se procede a ejecutar la simulación, que puede tardar desde algunos segundos a inclusive días de acuerdo con la complejidad del mallado. Finalmente, con los resultados se puede analizar las deformaciones y puntos críticos de la estructura, y a partir de aquello, obtener los factores de seguridad y así validar si el diseño propuesto cumple con lo requerido en cuanto a resistencia.

Capítulo 3

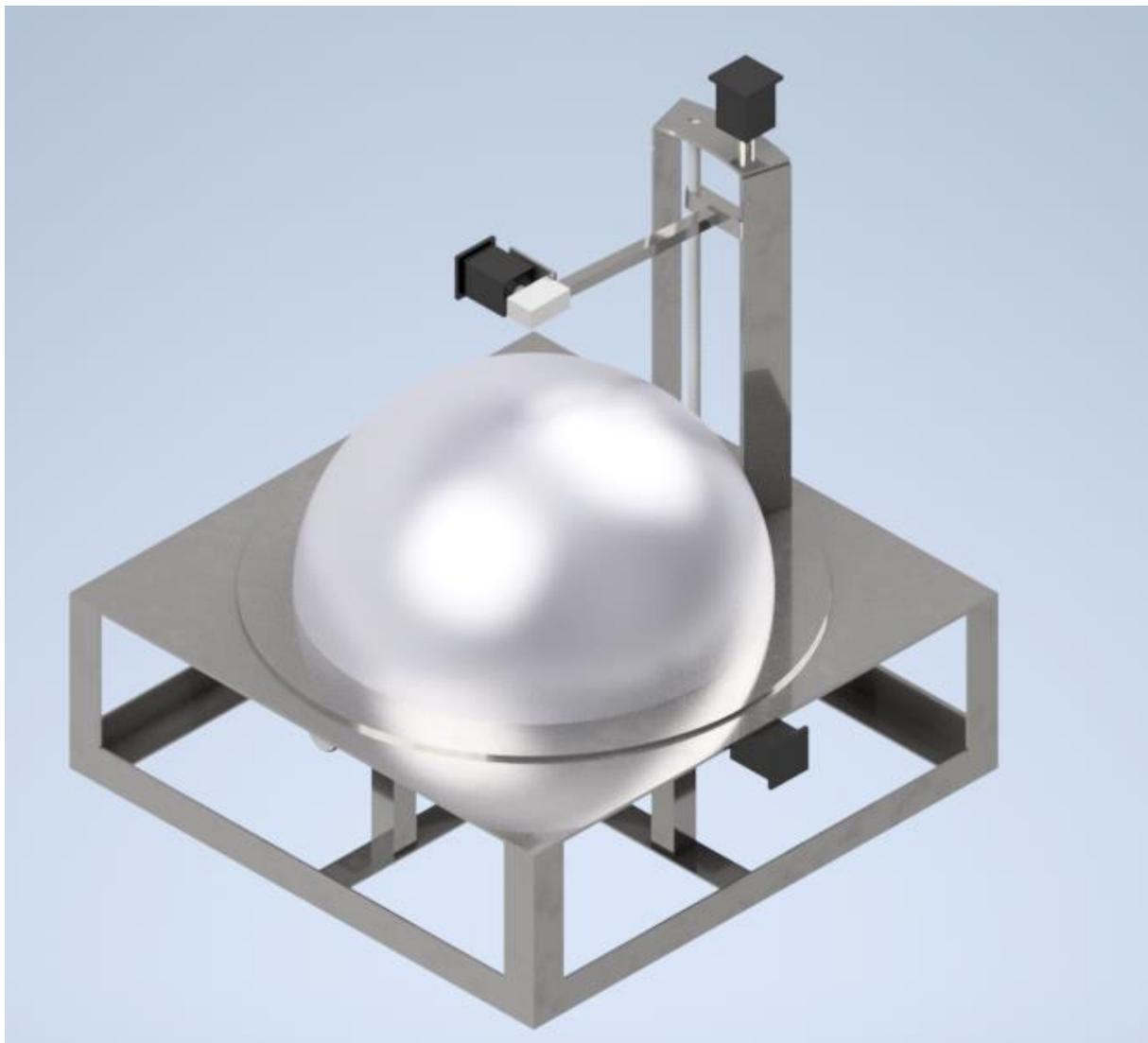
3. Resultados y Análisis

3.1. Resultados

En este capítulo se presenta los resultados del proceso de diseño del sistema de seguimiento de movimiento de nubes de nubes, el cual incorpora un circuito integrado con una cámara OV2640 de 2 megapíxeles y un lente de 120°. Este sistema se basa en un sistema estructural que permite dar 3 grados de movimiento, tal como se muestra en la figura 20.

Figura 23

Representación tridimensional del diseño del prototipo



Nota. Los planos de diseño y constructivos se encuentran en el anexo 2.

3.1.1. Componentes requeridos

Para la construcción del sistema se requirieron los siguientes materiales que se detallan en la tabla 6:

Tabla 7

Materiales Requeridos para la implementación del seguidor de nubes

Elemento	Material	Cantidad	Unidad
Tubo cuadrado de 12 mm x 3 mm	Acero Estructural (A36)	1 (6 m)	1
Plancha de acero	Acero Estructural (A36)	1(4x8 ft)	1
Angulo doblado	Acero Estructural (A36)	1 (6 m)	1
Varilla redonda lisa 15 mm	Acero ASTM A36	1 (6m)	1
Rodamientos 6302	Predeterminado	7	1
Polea de goma 15x40x12	Caucho	1	1
Tornillo de bola SFU1204 (incluye rodamientos y acople)	Acero AISI 1010	1	1
Motor de paso a paso nema 23 1,8 °		1	1
Motor de engranaje variable de 90W110V reducción 20k		1	1
Espejo de seguridad acrílico de domo completo.	Acrílico	1	1
Porta cámara	PLA. (ácido poliático)	1	1
Cámara wifi		1	1

En cuanto al tornillo sin fin, se obtuvieron los siguientes valores.

Tabla 8*Características del tornillo sin fin seleccionado*

Característica	Unidad	Valor
Carga de tornillo	N	1,64
Torque requerido	kg-cm	0.011808
Factor de seguridad	-	73.98
Eficiencia	%	90

3.2. Características de componentes

En primer lugar, se seleccionó los elementos estructurales del sistema, los cuales se aplicó las ecuaciones presentadas en el capítulo anterior y se seleccionaron los siguientes materiales, el esfuerzo máximo calculado y el factor de seguridad de cada elemento crítico.

Tabla 9*Características mecánicas de componentes estructurales*

Elemento	Material	Esfuerzo máximo [MPa]	FS
Brazo	Acero A36	2,47	97
Tornillo sin fin	Acero 1010	3,38	71
Pista	Acero A36	14,361	17.40
Estructura	Acero A36	0.132	1893

Como se puede observar en la tabla 8, los elementos cuentan con factores de seguridad superiores a 15, lo cual indica que la estructura no fallará ante las cargas previstas.

En cuanto a los motores, se estimó el torque requerido con el procedimiento descrito en la sección 2.6.5 y se seleccionó en catálogos los modelos que satisfacen los requerimientos de diseño.

Tabla 10*Características de motores seleccionados*

Motor	Marca	Modelo	Torque requerido [kg-cm]	Torque máximo [kg-cm]	Velocidad requerida [RPM]	Paso [°]
Cámara			0.011808			
Tornillo	Nema	23 1,8 °				
Pista	Nema	23 1,8 °				

3.3. Simulación de estructura

En el análisis mecánico de la estructura solo se realizó sobre los conjuntos conformados por brazo y sistema de elevación, y la estructura de sujeción al techo, debido a que eran los componentes críticos de la estructura y con el fin de ahorrar recursos computacionales.

Para comenzar el análisis se exportó el modelo CAD a ANSYS y se procedió con mallado, es decir, la división del modelo en pequeños elementos. Se probó con diferentes tamaños de elementos hasta obtener un resultado válido bajo el criterio descrito en la sección 2.7. Dicho valor se obtuvo con un tamaño promedio de 10 mm tal como se muestra en las figuras 23.

Tabla 11*Resultados del mallado del brazo de cámara*

Tamaño promedio de elemento [mm]	50	25	10
# Nodos	11	21	43
# Elementos	5	10	21
Esfuerzo máximo brazo [MPa]	2.0918	2.0948	2,0956
% Error brazo	-	0,143	0,038

Como se puede visualizar para el brazo, la convergencia se produjo con elementos de 25 mm, con lo cual se considera este un mallado adecuado. Por otro lado, para el conjunto conformado por el soporte, la pista de rodamiento y el tornillo de bolas se obtuvo los siguientes resultados del mallado:

Tabla 12

Resultados del mallado del conjunto de soporte, pista y tornillo

Tamaño promedio de elemento [mm]	12	10	8
# Nodos	1833	2662	3570
# Elementos	1701	2526	3461
Deformación máxima [mm]	1,4253	1,4273	1,4273
Esfuerzo máximo pista [MPa]	14,819	14,819	14,819
% Error pista	-	0	0
Esfuerzo máximo tornillo [MPa]	1,6846	1,5837	1,5722
% error tornillo	-	6,00	0.726

Cómo se puede observar en la tabla 11, se obtiene un resultado válido con un tamaño promedio de elemento de 10 mm. Al disminuir el tamaño a 8 mm aumenta el número de elementos considerablemente, lo cual conlleva mayor uso de recursos computacionales.

Figura 24

Mallado de brazo de sujeción

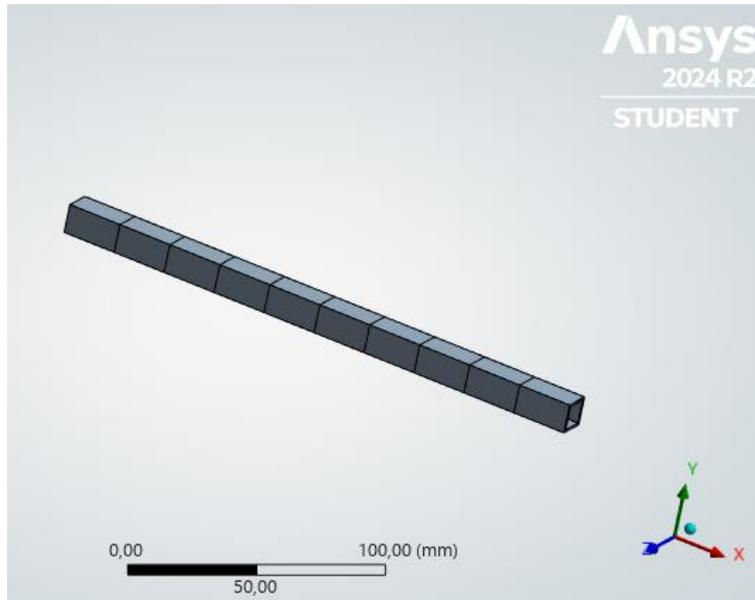


Figura 25

Mallado realizado al conjunto de sujeción de la cámara, tornillo de bolas y pista de rodamiento



Una vez obtenido los mallados se procedió al análisis de esfuerzos y factores de seguridad para cada elemento, y su respectiva comparación con los valores teóricos. A continuación, se presenta los gráficos obtenidos.

Figura 26

Resultado de esfuerzos en el brazo de sujeción de cámara

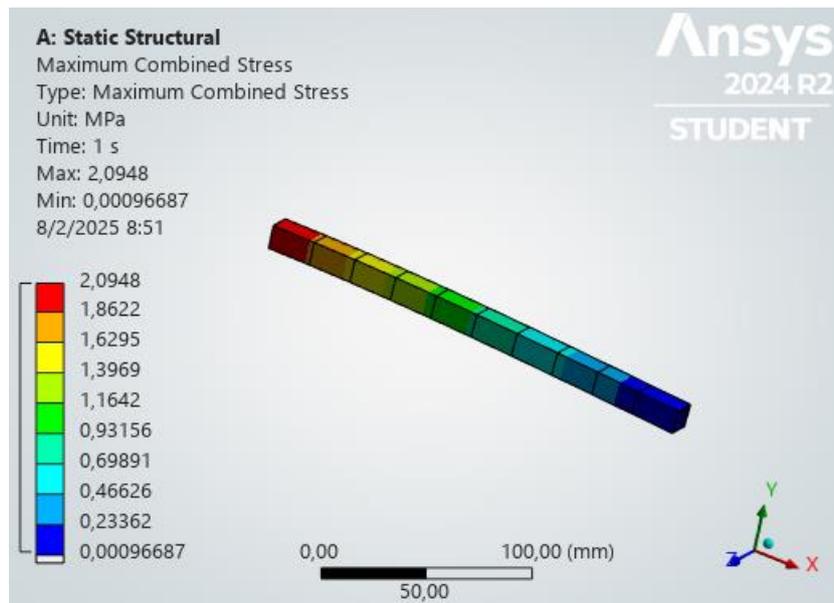


Figura 27

Resultado de esfuerzos en el tornillo de bolas y barra guía

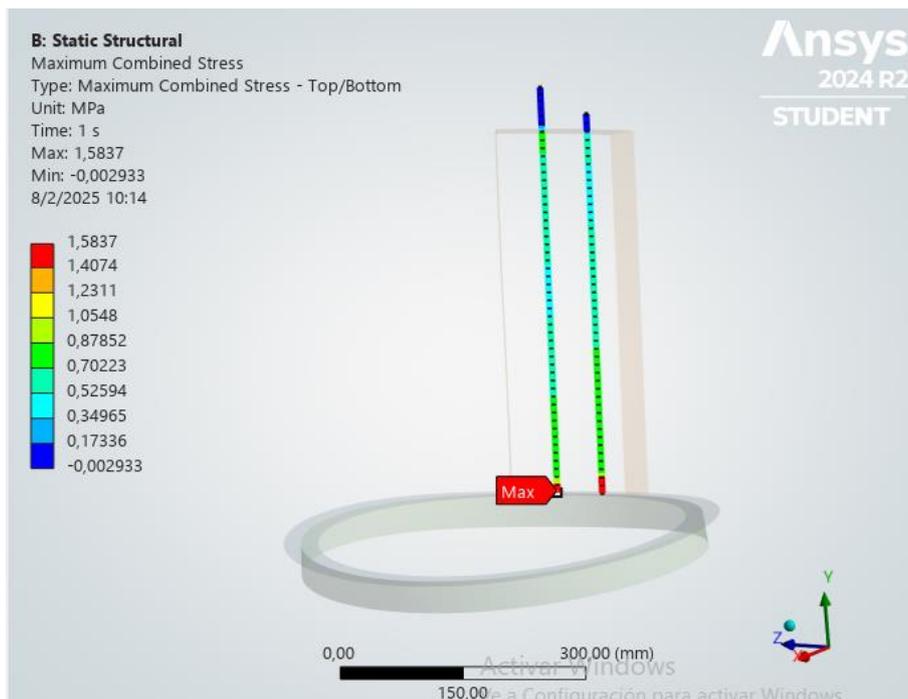


Figura 28

Resultado de deformación en soporte de cámara y pista de rodamiento

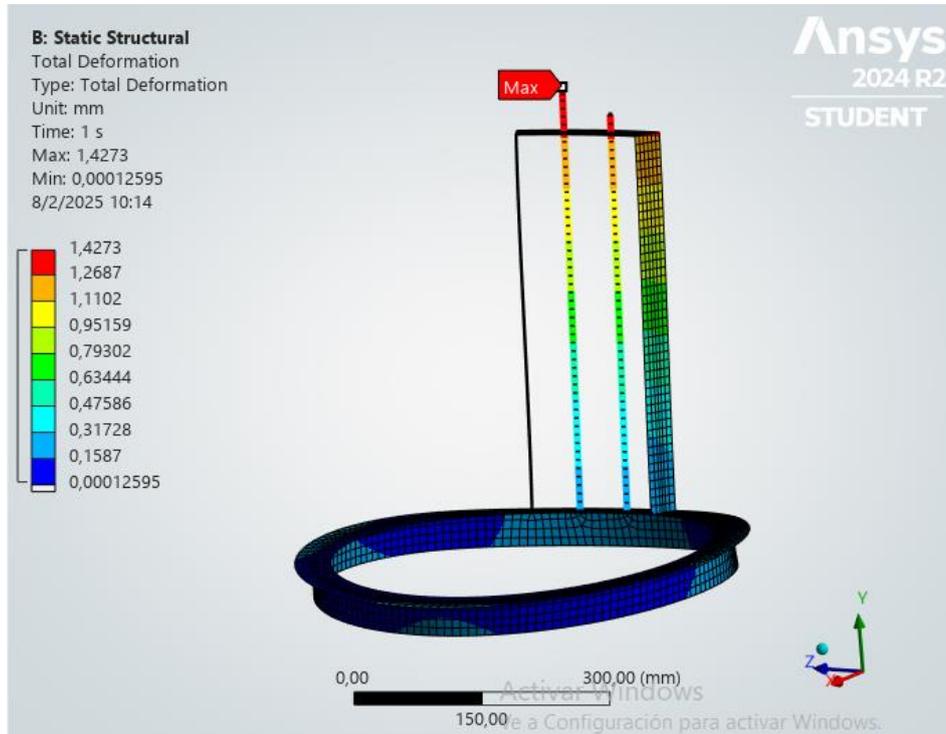
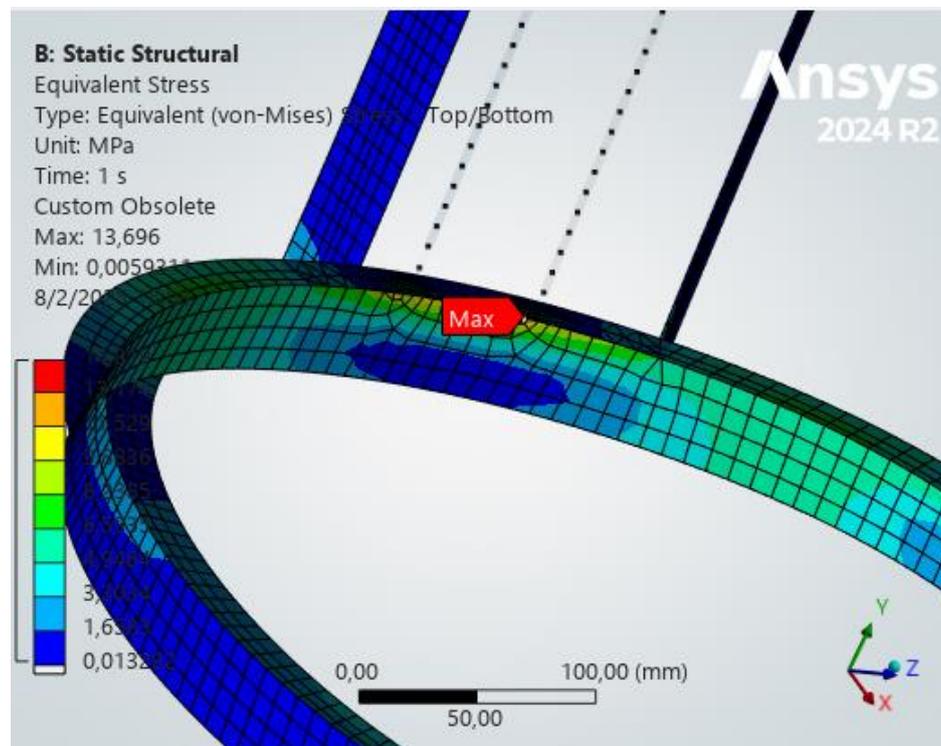


Figura 29

Resultado de esfuerzo máximo en soporte de cámara y pista de rodamiento



Luego de realizar la simulación se registraron los valores de esfuerzos máximos en los puntos críticos y se comparó con los valores calculados, tal como se puede observar en la tabla 12.

Tabla 13

Comparación de resultados simulados con resultados calculados

Punto crítico	Valor teórico	Valor simulación	FS	Error
	[MPa]	[MPa]		[%]
Brazo	2,184	2.095	119	4.07
Tornillo de bolas	1.179	1.5712	159	33.26
Pista	14.361	14.819	16.87	3.19

Como se puede visualizar en la tabla 7, los valores simulados presentan un error menor al 5% para el brazo y la pista, lo cual demuestra que los cálculos fueron acertados y por tanto la estructura no fallará ante las cargas previstas. Por otra parte, para esfuerzo en el tornillo de bolas, se tiene un error del 33% lo cual se explica debido a que en la simulación se tomó en cuenta el peso propio del tornillo, variable no contemplada en el cálculo teórico. Sin embargo, el factor de seguridad sigue siendo considerablemente alto, lo cual indica que no fallará ante cargas estáticas.

Por otra parte, en el análisis de vibraciones se probó 4 modos de vibración y se obtuvo los siguientes valores registrados en la tabla 11. Dichos valores son de utilidad para posteriores análisis de vibraciones.

Tabla 14*Resultado del análisis modal de vibraciones*

Modo	Frecuencia [Hz]	Frecuencia [RPM]
3	$4,4851 \cdot 10^{-4}$	0.02691
4	$5,7598 \cdot 10^{-4}$	0.034559
5	$5,9289 \cdot 10^{-4}$	0.035573
6	$1,4563 \cdot 10^{-3}$	0.08738

3.4. Análisis técnico-económico

Una vez definido los materiales y elementos requeridos, se procedió con su cotización en tiendas especializadas y revisión de catálogos. Se resume en la tabla 14 los costos de materiales, elementos, mano de obra y diseño.

Tabla 15*Resumen de presupuesto de implementación de seguidor de nubes*

#	Descripción	Precio unitario (\$ USD)	Unidades	Precio final (\$ USD)
Materiales				
1	Tubo cuadrado de 12 mm x 1 mm (6m)	16,14	1	16,14
2	Plancha de acero (2 mm)	49,42	1	49,42
3	Angulo doblado 40x40x3 (6 m)	13,09	1	13,09
4	Varilla lisa de 15 mm	17,58	1	17,58
5	Palillo revestido 6011	4,40\$/kg	2kg	8,80
6	Transporte de material	90	1	90
Componentes				
7	Espejo de seguridad acrílico de domo completo.	45	1	45
8	Tornillo de bola SFU1204 (incluye rodamientos y acople)	106,44	1	106,44
9	Rodamientos 6302	12,79	8	102,32
10	Rueda de goma	8,85	1	8,85
11	Motor de paso a paso 28BYJ-48	5,74	2	11,48
12	Motor de paso a paso nema 23 1,8 °	39,99	1	39,99
13	Porta cámara	5,00	1	5,00
14	Cámara wifi (Módulo ESP32 y Cámara OV2640)	12,5	1	12,5
Mano de obra				
15	Horas de diseño	20\$/h	32h	640
16	Horas de soldador	10\$/h	16h	160
Total				1326,61

3.5. Manual de instalación y mantenimiento

Se elaboró un manual de instalación y mantenimiento con el propósito de guiar al usuario en los procesos mencionados para que estos sean ejecutados de forma correcta y de esta forma garantizar la seguridad del equipo y de quienes lo operen. Así mismo, se dan indicaciones de la realización del mantenimiento preventivo y correctivo con el fin de prolongar la vida útil del producto. No se realizó manual de operación porque el cliente es el encargado de desarrollar el sistema de control para el equipo. Dicho manual se encuentra en el anexo 2.

Capítulo 4

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- El diseño e implementación del sistema de seguimiento óptico de nubes de 3 grados de libertad permitió la captura y análisis de imágenes del cielo, proporciona información valiosa para la predicción de la disponibilidad de energía solar en sistemas fotovoltaicos, contribuyendo así a la optimización del aprovechamiento de esta fuente renovable.
- A través del diseño y simulación de los componentes mecánicos, se logró verificar la estabilidad estructural del sistema, asegurando un margen adecuado de resistencia ante cargas y esfuerzos operativos. El análisis por elementos finitos validó la confiabilidad del sistema, evidenciando factores de seguridad superiores a los mínimos requeridos para su funcionamiento. Esto confirma que la metodología utilizada para el dimensionamiento y selección de materiales fue adecuada y que el sistema es estructuralmente viable para su implementación en entornos reales.
- El análisis técnico-económico del sistema determinó que la solución propuesta es factible en términos de costos de fabricación, instalación y mantenimiento. Además, su capacidad de adaptación para futuras mejoras, como la integración de algoritmos de inteligencia artificial y sensores adicionales, refuerza su potencial para aplicaciones en estudios meteorológicos y optimización de la generación fotovoltaica.
- El movimiento de traslación mediante el tornillo de potencia y pista radial es muy efectivo para el ajuste focal y posicionamiento usando 3 grados de libertad, cumpliendo los requerimientos del diseño y peticiones del cliente.
- El sistema diseñado cuenta con un manual de construcción y mantenimiento, además de los respectivos planos constructivos, con lo cual se establece que el sistema pueda ser implementado y mantenido en excelentes condiciones.

4.2. Recomendaciones

- Realizar pruebas de aerodinámica para conocer las cargas de viento sobre la estructura con el propósito de evaluar la resistencia estática y dinámica de la estructura. En caso de ser significativas se debe cambiar la geometría para reducir dichas cargas.
- Se sugiere incorporar un sistema de sensores y algoritmos de control automático para el seguimiento en tiempo real de la cobertura nubosa. Mediante el uso de cámaras, sensores de radiación solar y estaciones meteorológicas locales, se podría ajustar la orientación y operación del sistema fotovoltaico en función de las condiciones atmosféricas. Esto permitiría optimizar la generación de energía en escenarios de alta variabilidad climática.
- La integración de modelos de aprendizaje automático permitiría procesar grandes volúmenes de datos meteorológicos e históricos del sistema fotovoltaico. Algoritmos como redes neuronales o modelos de regresión avanzada podrían predecir la producción energética y ajustar automáticamente la operación del sistema para maximizar su eficiencia. Esto reduciría la dependencia de intervenciones manuales y mejoraría la confiabilidad del sistema ante cambios climáticos inesperados.
- Se recomienda usar sistema de adición de cables, que se adapten al movimiento, como pinzar en puntos del brazo y la base, y sistema de rotación para la base giratoria. Con eso se logra conectar los distintos componentes electrónicos sin interferir en el movimiento de la cámara.

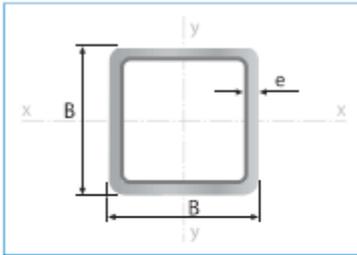
- **Referencias**

- Alegre Fernández, S. (2022). *Clasificación automática de imágenes del cielo mediante inteligencia artificial*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/58262>
- Andrades Rodríguez, M., & Muñoz León, C. (2012). *Fundamentos de climatología* (2a ed.). Universidad de La Rioja.
- Báez, J., & Forero, R. (2018). Energía solar fotovoltaica, una alternativa sustentable para el futuro. *Universidad Santo Tomás Bogotá, Colombia*, 1–14. <https://n9.cl/vq2ju>
- Boyle, C. F. H., Haas, J., & Kern, J. D. (2021). Development of an irradiance-based weather derivative to hedge cloud risk for solar energy systems. *Renewable Energy*, 164, 1230–1243. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.091>
- Budynas, R. G., & Nibsbet, K. (2008). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (8a ed.). McGraw-Hill Education.
- Corporación Eléctrica del Ecuador. (2024). *Estudio de potencial solar fotovoltaico del Ecuador*. <https://www.celec.gob.ec/wp-content/uploads/2024/05/Folleto-PROYECTOS-FOTOVOLTAICOS-ECU-2024-2-26-FEB.pdf>
- DCX. (s/f). *Cámara OV2640 120°/160°/200°/3.6mm*. UNIT Electronics. Recuperado el 10 de diciembre de 2024, de <https://uelectronics.com/producto/camara-ov2640-120-160-200-3-6mm/>
- DFROBOT. (s/f). *ESP32-CAM Development Board*. Digikey. Recuperado el 10 de noviembre de 2024, de https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/DFRobot%20PDFs/DFR0602_Web.pdf
- González, J. A. C., Calero Pérez, R. C., Colmenar Santos, A. C., & Castro Gil, M.-A. (2009). *Centrales de energías renovables: generación eléctrica con energía renovables*. Pearson Educación S.A.
- Karimi, M., Mokhlis, H., Naidu, K., Uddin, S., & Abu Bakar, A. H. (2016). Photovoltaic penetration issues and impacts in distribution network – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 594–605. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.042>
- López Mas, M., Oliva-Cruz, M., Gosgot Angeles, W., & Espinoza Canaza, F. I. (2022). Rendimiento energético de un sistema fotovoltaico autónomo con seguidor solar bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 6(1), 83. <https://doi.org/10.25127/aps.20221.858>

- Lutgens, F. K., Tarbuck, E. J., & Hernan, R. I. (2019). *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology* (14a ed.). Pearson.
- Maka, A. O. M., & Alabid, J. M. (2022). Solar energy technology and its roles in sustainable development. *Clean Energy*, 6(3), 476–483.
<https://doi.org/10.1093/ce/zkac023>
- Norton, R. L. (2009). *Diseño de Maquinaria: Síntesis y análisis de máquinas y mecanismos* (4a ed.). McGraw-Hill Education.
- Oliveira, J. R. H. de. (2023). ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(3), 1945–1954.
<https://doi.org/10.51891/rease.v9i3.9030>
- Organización Meteorológica Mundial. (2008). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos* (2008a ed.).
- Reddy, J. N. (2017). *An Introduction to the Finite Element Method*. McGraw-Hill Education.
- SKF. (2015). *Rodamientos*. SKF.
- THK. (s/f). *Ball Screw: General Catalog*. THK. Recuperado el 27 de enero de 2025, de https://tech.thk.com/en/products/pdf_download.php?file=E_15_BallScrew.pdf
- Vaneck, F. M., Albright, L. D., & Angenent, L. T. (2016). *Energy Systems Engineering: Evaluation and Implementation* (3a ed.). Mc-Graw Hill Education.

Apéndice A:

Cotizaciones



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
JIS G 3132 / JIS G 3302 /
JIS G 3141
Norma de Fabricación:
INEN 2415
Espesores:
Desde 0,60 a 1,50 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

› **Aplicaciones**

- Muebles metálicos en general.
- Cerrajería (rejillas, puertas, etc).
- Divisiones Modulares.
- Pasamanos,
- Cerramientos para viviendas.
- Fabricación de remolques.
- Estanterías.
- Parantes de repisas.

INEN



Designaciones			Área	Peso	Propiedades Estáticas		
					Eje x-x' = y-y'		
B	B	e	A	P	I	W	i
pulg.	mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
1/2	12	0,75	0,32	0,26	0,07	0,11	0,45
		0,90	0,38	0,30	0,08	0,13	0,45
		1,00	0,41	0,33	0,08	0,13	0,44
5/8	15	1,10	0,45	0,36	0,09	0,14	0,44
		0,75	0,41	0,33	0,16	0,19	0,58
		0,90	0,49	0,39	0,19	0,21	0,56
3/4	20	0,60	0,46	0,36	0,34	0,29	0,79
		0,75	0,56	0,45	0,40	0,34	0,78
		0,90	0,67	0,53	0,48	0,41	0,77
		1,10	0,80	0,64	0,54	0,47	0,77
1	25	1,50	1,05	0,84	0,65	0,58	0,74
		0,75	0,71	0,56	0,82	0,55	0,99
		0,90	0,85	0,67	1,00	0,67	0,97
1 1/4	30	1,10	1,02	0,81	1,12	0,76	0,97
		1,50	1,35	1,08	1,39	0,97	0,95
		0,90	1,03	0,81	1,79	1,00	1,18
1 1/2	40	1,10	1,24	0,98	2,01	1,13	1,17
		1,50	1,65	1,31	2,54	1,47	1,15
		1,10	1,68	1,33	5,03	2,10	1,58
2	50	1,50	2,25	1,79	6,48	2,74	1,56
		1,20	2,31	1,82	9,06	3,63	1,98
		1,50	2,85	2,26	11,06	4,42	1,97

Tornillo de bolas SFU1204



Q

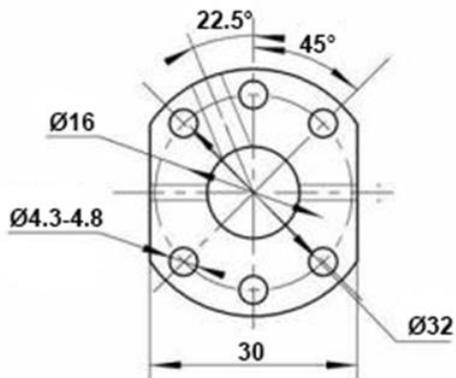
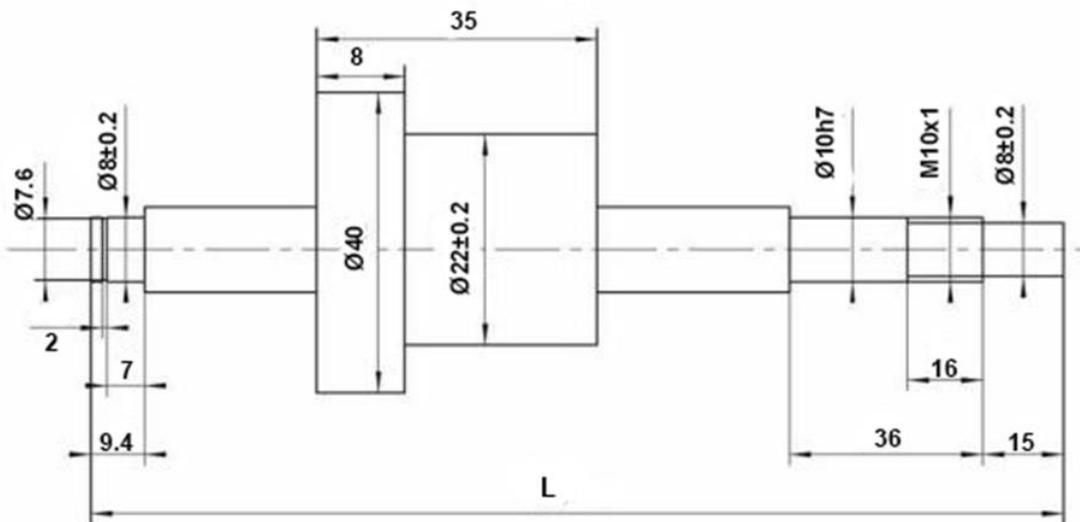
Husillo de bolas SFU1204

\$69.99 – \$145.00

Tamaño

\$106.44

SKU: N/A
Category: Husillos de Bolas y Accesorios



Espejo convexo acrílico

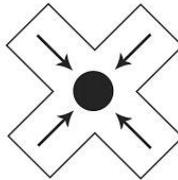


[Agrandar y ver video](#)

ESPEJOS DE SEGURIDAD DE ACRÍLICO DE DOMO COMPLETO

Elimine los puntos ciegos en almacenes y oficinas. Evite los choques en esquinas, intersecciones y pasillos. Livianos y fáciles de instalar.

- 4 vías. Panorámico de 360°.
- Acrílico inastillable.
- Reduzca los accidentes en almacenes y el robo en tiendas de menudeo.
- Kit de Cadenas para Instalación se vende por separado.
- Uso en interiores y exteriores.



No incluye envío ni Impuestos.

ESPEJO DE SEGURIDAD DE DOMO COMPLETO PARA INTERIORES/EXTERIORES

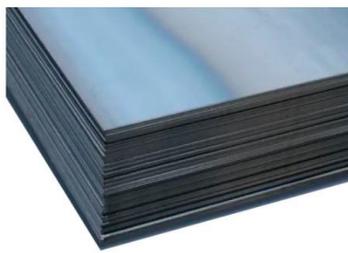
MODELO NO.	DESCRIPCIÓN	DIÁMETRO	PESO (LBS.)	VISTA	PRECIO UNITARIO (MXN)		AGREGAR AL CARRITO	
					1	3+	<input type="text"/>	AGREGAR
H-1884	Domo Completo Acrílico	18"	6	360°	\$1,804	\$1,738	<input type="text"/>	AGREGAR
H-2078		26"	10		3,300	3,168	<input type="text"/>	AGREGAR
H-10526		32"	14		5,236	4,950	<input type="text"/>	AGREGAR
• H-1885		36"	19		6,050	5,786	<input type="text"/>	AGREGAR
• H-9220		48"	26		9,636	9,350	<input type="text"/>	AGREGAR

■ ENVÍO POR CARGA CONSOLIDADA

Plancha laminada en caliente

Categorías

- > TECHO
- > ÁNGULO PLATINA BARRAS
- > TUBERÍAS
- > HIERRO CORRUGADO
- > PLANCHAS
- > PERFILES
- > MALLAS
- > MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
- > SERMET - SERVICIOS METALÚRGICOS



PLANCHA LAMINADA EN CALIENTE

PLANCHAS - PLANCHA NEGRA

Disponibilidad

En Stock

\$49.42

El laminado en caliente permite una gran variedad de formas y de piezas, además de poderse utilizar para fabricar piezas grandes sin tener que preocuparse por la integridad del material. Por eso el acero laminado en caliente se usa a menudo en proyectos estructurales.

SKU: PACA001

PLANCHA CALIENTE 2MM (1220X2440)

1

Comprar

Compra por Whatsapp

Favorito

PISO GRES MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

FACHALETAS PARA PADEREC

Ángulo de acero negro doblado

Categorías

- > TECHO
- > ÁNGULO PLATINA BARRAS
- > TUBERÍAS
- > HIERRO CORRUGADO
- > PLANCHAS
- > PERFILES
- > MALLAS
- > MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN
- > SERMET - SERVICIOS METALÚRGICOS

Últimos productos



MITSUBISHI

ÁNGULO NEGRO DOBLADO

ÁNGULO PLATINA BARRAS - ANGULO NEGRO

Disponibilidad

Consultar Stock

\$13.09

Los ángulos doblados son productos cuya sección transversal está formada por dos alas de igual longitud, en ángulo recto. Los ángulos doblados de acero estructural son utilizados para construcciones de estructuras pesadas debido a que es un perfil de alta resistencia.

SKU: ALDN011

INFORMACIÓN: PARA MEDIDAS ESPECIALES

CONTACTANOS CON NOSOTROS **0967815293**

ÁNGULO NEGRO DOS 1 1/2X1/8 (40X3)

- 1 +

Comprar

Compra por Whatsapp Favorito

Rodamientos 6302-2RSR-L038-FAG

HOME POR QUÉ NOSOTROS MARCAS GANADORAS REPUESTOS GANADORES HISTORIAS GANADORAS DIVISIÓN INDUSTRIAL

Buscar

Buscar por: Vehículo o Medidas

SCHAEFFLER

LUK FAG

6302-2RSR-L038_FAG

CÓDIGO: CDR-000001012

US\$11,12

(US\$12.79 incluido IVA)

Disponible Q

Cantidad:

8

Detalles de envío/retiro

Gastos de envío

Comprar

Agregar al carrito



Motor paso a paso 28BYJ-48

[Inicio](#) / [Motores](#) / Motor paso a paso 28BYJ-48 y driver ULN2003



MOTOR PASO A PASO 28BYJ-48 Y DRIVER ULN2003

\$ 4.99+IVA (\$ 5.74)

Resumen

MOTOR PASO A PASO 28BYJ-48 DE 5V + DRIVER ULN2003

Motor paso a paso 28BYJ-48 de 5V, 4 fases, 5 hilos (unipolar) con su módulo driver ULN2003 (tiene un jumper On/Off para encendido y apagado del motor). Incluye todos los elementos de la foto.

Cant.

1

 **COMPRAR**

✓ 28 unidades disponibles

A partir de	Precio unitario
3	\$ 3,50+IVA (\$ 4,03)

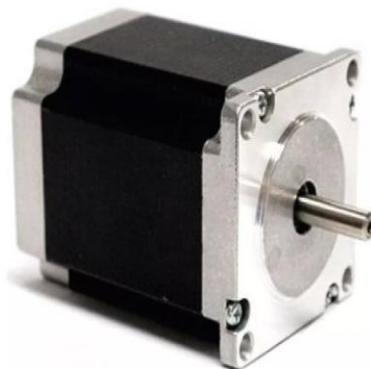
*Los descuentos por cantidad se aplican sobre el número total de unidades del producto (puede incluir una o más variantes).

Motor Nema 23 1.2 Nm

También puede interesarte: iso hd bpi - enchufe inteligente - oxl com ec - batería 12v 7ah - h8 3k

[Volver al listado](#) | [Electrónica, Audio y Video](#) > [Otros](#)

[Vender uno igual](#) | [Compartir](#)



Productos del vendedor

Nuevo | 2 vendidos

**Nema 23 Motor A Pasos
1.2nm Cnc Router Dc 3d
Innovatech**

US\$ 39⁹⁹

en 12 cuotas de US\$ 3³³

[Ver los medios de pago](#)

 **Cupón** US\$10 OFF. Compra mínima US\$ 20.

Envío gratis a todo el país
Conoce los tiempos y las formas de envío.
[Calcular cuándo llega](#)

Cantidad: **1 unidad** (+10 disponibles)

Comprar ahora

Agregar al carrito

Vendido por **INNOVATECHCU**

MercadoLider | +100 ventas

5839



Las imágenes son para referencia solamente. Ver especificaciones del producto.

[Compartir](#)

Comparar producto [Agregar a proyecto](#) | [Añadir notas](#)

Mouser N.º:	485-5839
Fabricante N.º:	5839
Fabricante:	Adafruit
Ref. Cliente:	<input type="text" value="Ref. Cliente"/>
Descripción:	Herramientas de desarrollo para cámaras Adafruit OV5640 Camera Breakout - 120 Degree Low Distortion
Ciclo de vida:	NEW Nuevo producto: Lo nuevo de este fabricante.

En existencias: 16

Existencias: 16 Se puede enviar inmediatamente

Plazo de entrega de fábrica: 12 Semanas [?](#)

Introducir cantidad: Mínimo: 1 Múltiples: 1 [Comprar](#)

Precio (USD)

Cantidad	Precio unitario	Precio ext.
1	\$12.50	\$12.50

Especificaciones

Atributo del producto	Valor de atributo	Seleccionar atributo
Fabricante:	Adafruit	<input type="checkbox"/>
Categoría de producto:	Herramientas de desarrollo para cámaras	
RoHS:	Detalles	

PRODUCTOS DESTACADOS ADAFRUIT

5420 MEMENTO Python Programmable DIY Camera

Versatile development board designed for custom camera and vision projects. [Más información](#)

MLX90640 IR Thermal Camera Breakout Boards

Contains a 24x32 array of IR thermal sensors that can return an array of 768 readings over I²C.

MEGA SYWI FERRITERIA • HOGAR • CONSTRUCCIÓN CATEGORÍAS ¿Qué necesitas hoy?



Electrodo E-6011 / 4 mm de diámetro / 5/35 pulgadas y 35 cm de largo. Para corriente continua o alterna; 1 kg

SKU: 514160

\$4,40
Hasta 1x \$4,40 sin interés

[AGREGAR AL CARRITO](#)

[CONSULTA DISPONIBILIDAD EN LOCALES](#)

Comparte [f](#) [w](#) [p](#)

[DIFIERE TUS PAGOS](#) [¿TIENES](#)

Construcción > Aceros > Tuberías



ADELCA | SKU: 32167

Compartir

Tubo Cuadrado Estructural | Adelca

Precio **\$41.67**
(Incluye IVA)

Agregar

Características destacadas

- Color: Gris
- Material: Acero

[Ver más características](#)

Composición
Acero

Revisa la disponibilidad según tu ubicación:

[Volver a los resultados](#)



Pasa el ratón por encima de la imagen para ampliarla



Amig - Rueda de Goma Gris con Pletina y Rodamientos Mod.2502 Silenciosa para Carros, Muebles, Mesas o Patas | Resistencia de carga máxima: 17 kg | Diámetro Ø 40 mm | Medidas Placa: 46 x 46 mm

[Visita la tienda de Amig](#)

3.75 €

Los precios de los productos vendidos en Amazon incluyen el IVA. Dependiendo de tu dirección de entrega, el IVA puede variar al finalizar la compra. Para obtener más información, haz clic [aquí](#). Disponible a un precio más bajo en [otros vendedores](#) que tal vez no ofrezcan envío de Amazon Prime gratis.

Color	Gris
Marca	Amig
Material	Caucho
Tipo de montaje	Montaje en placa
Tipo de rueda	Rígida
Recomendación de superficie	Multisuperficie

[Ver más](#)

3.75 €

Entrega por 22,86 € el **lunes de febrero**. [Ver detalles](#)

Enviar a Ecuador

En stock

Cantidad: 1

Añadir a la cesta

Comprar ya

Envío desde Amazon
Vendido por Amazon
Devoluciones Se puede devolver en un plazo de 30 días a partir de la Transacción segura

Añade un ticket de regalo para facilitar las devoluciones

[Añadir a la Lista de deseos](#)

Anexo 2

Manual de instrucciones

Manual de instalación y mantenimiento
Seguidor de nubes con tres grados de libertad

Elaborado por:

Santiago Paredes

Daniel Robalino

Primera Edición

2025

Índice

- 1) Introducción
- 2) Descripción de la Estructura
- 3) Instalación
- 4) Mantenimiento Preventivo
- 5) Mantenimiento Correctivo
- 6) Seguridad
- 7) Registro de Mantenimiento
- 8) Contactos

1) Introducción

Propósito del manual

El presente manual presenta instrucciones detalladas para la correcta instalación y mantenimiento de la estructura y los mecanismos del seguidor de nubes de tres grados de libertad. Está dirigido para técnicos y personal de mantenimiento.

Alcance

El manual solo abarca el apartado mecánico y estructural del dispositivo. No cubre el sistema eléctrico ni electrónico.

Precauciones Generales

- Revisar que el equipo contenga todas las piezas.
- Verificar que la estructura esté correctamente anclada antes de operar el sistema
- Evitar realizar ajustes cuando el sistema esté en operación.

2) Descripción de la estructura

La estructura consiste en un brazo móvil que sujeta una cámara especializada en la captura de imágenes del cielo. La cámara se enfoca a un espejo convexo con el fin de fotografiar la totalidad de la bóveda celeste. Cuenta con mecanismos que permiten ajustar la posición de la cámara de acuerdo con lo requerido por el usuario, ya sea en altura, inclinación y rotación.

3) **Mantenimiento Preventivo**

El objetivo del mantenimiento preventivo es prevenir fallos en el equipo y al sistema. Por ello se sugiere el siguiente cronograma para ejecutar:

- **Diario:** Inspección visual del equipo.
- **Semanal:** Revisión de mecanismos y realización de ajustes en caso de ser necesario
- **Mensual:** Limpieza del equipo con agua y jabón suave usando paño suave. Luego, lubricación de los mecanismos y pivotes con aceite.
- **Anual:** Inspección detallada de la estructura y reemplazo de piezas desgastadas.

Inspecciones visuales

Observar si existe corrosión o daños en los componentes estructurales y de sujeción. En caso

4) **Mantenimiento Correctivo**

4.1) **Identificación de problemas comunes**

- **Aflojamiento de sujeciones:** puede deberse a vibraciones o a la exposición a la intemperie.
- **Corrosión de componentes móviles y estructurales:** puede deberse a la humedad y/o salinidad.
- **Desgaste en mecanismos:** debido a un uso prolongado y/o falta de lubricación.

4.2) **Procedimiento de Reparación**

Ajuste de sujeciones:

- Utilice la llave adecuada para el elemento a reajustar.
- Verifique que no exista daños en las roscas.

Reparación de estructura y mecanismos:

- En caso de corrosión, se recomienda lijar el área adecuada y aplicar pintura anticorrosiva.
- En caso de fallos graves como deformaciones o grietas, reemplazar el componente inmediatamente.
- Para reparaciones mayores, se recomienda contactar al fabricante del equipo o a un especialista en sistemas electromecánicos.

5) Seguridad

Normas de Seguridad

- Utilizar equipo de protección personal adecuado, incluyendo guantes, gafas y botas de seguridad
- No realizar ajustes mientras el equipo está en funcionamiento
- Verificar que la estructura esté correctamente anclada para evitar su colapso.

Advertencias

Riesgo de colapso: debido a que la estructura no está correctamente anclada o no esté ajustada sus uniones

Riesgo de atrapamiento: debido a

6) Registro de Mantenimiento

Para el registro de actividades de mantenimiento se sugiere seguir el siguiente formato:

Fecha (Día/Mes/Año)	Tipo de mantenimiento realizado Preventivo (P), Correctivo (C)	Descripción	Costo	Técnico Responsable	Observaciones

7) Contacto

Para asistencia técnica y consultas sobre repuestos comuníquese a los siguientes números y/o correos:

sanrapar@espol.edu.ec - +593 959062311

darobali@espol.edu.ec - +593 96 749 4114

8) Anexos

Planos constructivos

Anexo 3
Planos constructivos