

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica

TESIS

**Diseño de un mecanismo de limpieza de
colectores con cubierta plana en termas solares
para mejorar su eficiencia térmica**

Autor

Manuel Albino Cruz Ortega

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Mecánico

Arequipa - Perú
2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional"

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Roberto Belarmino Quispe Cabana
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 14 de Junio de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:

Diseño de un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica

Autores:

1. Manuel Albino Cruz Ortega – EAP. Ingeniería Mecánica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 19 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores
Nº de palabras excluidas (en caso de elegir "SI"): SI NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI NO

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

AGRADECIMIENTO

Haber culminado mi investigación marca un hito importante en mi vida académica y personal, y no habría sido posible sin la intervención de diversas personas e instituciones.

En primer lugar, elevo mi más profundo agradecimiento a Dios, por la vida, la salud y el discernimiento que me ha otorgado para afrontar los distintos desafíos en este camino. Su bendición ha sido una fuente de fortaleza e inspiración constante.

Expreso mi sincera gratitud a la Universidad Continental, por brindarme la oportunidad de formarme en un ambiente de excelencia académica, por los recursos educativos y por el conocimiento impartido que han formado las bases fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

Mi reconocimiento especial para mí asesor de tesis, Mg. Roberto Belarmino Quispe Cabana, cuya invaluable orientación, paciencia infinita y profunda experticia fueron los pilares fundamentales en la concepción y ejecución de esta investigación. Su dedicación y confianza en mi trabajo fueron cruciales para superar cada obstáculo.

A los miembros del jurado, Mg. Ever Luis Poma Tintaya, Mg. Wilfredo Víctor Morales Santivañez y Mg. Elías Teodoro Gonzales Navarro, por su valioso tiempo, sus agudas observaciones y sus constructivas sugerencias, que sin duda enriquecieron significativamente el presente documento.

Este logro es también un tributo a mis padres, Juana y Alvino que, con amor y sacrificio, forjaron en mí valores de respeto, honestidad y educación, implantando el esfuerzo y trabajo duro para lograr objetivos; mi gratitud eterna por ser el pilar de mi formación.

Asimismo, extiendo mi profundo agradecimiento a mis segundos padres, Paulina y César, por su compañía constante en mis tristezas y alegrías, en mis logros y fracasos, siendo un faro de apoyo y comprensión en todo momento.

Finalmente, agradezco también a mi hermano Jorge. Aunque la distancia sea un desafío, nuestras conversaciones sobre tecnología, ingeniería, religión y tantos otros temas siempre se extienden, fortaleciendo nuestro vínculo.

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación se lo dedico a mi esposa Cecilia, mi compañera de vida, que con su infinita paciencia, constante motivación y apoyo incondicional, me ha impulsado a alcanzar mis metas, a pesar de las ausencias y el tiempo sacrificado.

También dedico este trabajo a mis amadas hijas Gabriela, Fátima, María José y Mía. Por el tiempo que, si bien dejé de compartir plenamente con ellas, ahora se convierte en un ejemplo de esfuerzo, perseverancia y la promesa de un futuro mejor, inspirado en su cariño y comprensión.

RESUMEN

Se diseñó un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica, donde el uso de energías renovables, como la energía solar térmica, adquiere una importancia vital para reducir el consumo de combustibles no renovables. Se estima que, en Arequipa, existe un considerable número de termas solares, y a pesar de su potencial, disminuyen su eficiencia térmica debido a la acumulación de polvo, requiriendo limpieza constante. Esta tarea manual se vuelve tediosa y riesgosa, especialmente en instalaciones elevadas donde no se cuenta con medidas de seguridad adecuadas.

El objetivo principal de esta investigación es diseñar un mecanismo de limpieza que mejore la eficiencia térmica de los colectores planos en termas solares. Para lograrlo, se plantearon objetivos específicos como el diseño de una estructura ligera y resistente a la oxidación que soporte las condiciones climáticas, un mecanismo de limpieza eficaz, un sistema de transmisión para su desplazamiento, un sistema de rociado de agua para la remoción de polvo, y un sistema de control automático y autosustentable.

La metodología aplicada incluyó métodos descriptivos, experimentales y prescriptivos, utilizando las normas de diseño VDI 2221 y VDI 2225 para la evaluación técnico-económica. Se propuso una solución que utiliza un panel solar y batería para una alimentación autosustentable, un interruptor inteligente con conectividad WiFi para la programación y activación remota, y un sistema de puente corredizo impulsado por un tornillo Acme TR8X2-4p para la limpieza.

Los resultados demuestran un diseño de mecanismo de limpieza autosustentable y automatizado, con una estructura que utiliza perfiles de aluminio V-Slot 2020, presentando un peso ligero (7.86 kg estructural, 16.61 kg total aproximado) y alta rigidez, con un coeficiente de seguridad mínimo de 9. El mecanismo de limpieza tipo puente, similar a un limpiaparabrisas, se desplaza en el eje X con una inclinación de 30° mediante un tornillo Acme que proporciona un avance de 8 mm por cada 360° de giro y tiene una condición de autobloqueo. Se diseñó un sistema de rociado de agua conectado a la red doméstica, activado por una electroválvula, incluye rociadores en el colector y en el panel solar de la máquina. El sistema de control, basado en un interruptor inteligente WiFi y relés DPDT, permite una activación periódica programable, mejorando la seguridad al reducir la intervención humana en trabajos en altura y contribuyendo al medio ambiente al ser autosustentable.

Palabras clave: Mecanismo de limpieza, colector de cubierta plana, terma solar, eficiencia térmica, máquina autosustentable, máquina de limpieza automática.

ABSTRACT

A cleaning mechanism was designed for flat-roof collectors in solar thermal plants to improve their thermal efficiency, where the use of renewable energy, such as solar thermal energy, is vitally important to reduce the consumption of non-renewable fuels. It is estimated that there are a considerable number of solar thermal plants in Arequipa, and despite their potential, their thermal efficiency decreases due to dust accumulation, requiring constant cleaning. This manual task becomes tedious and risky, especially in elevated installations where adequate safety measures are lacking.

The main objective of this research is to design a cleaning mechanism that improves the thermal efficiency of flat-roof collectors in solar thermal plants. To achieve this, specific objectives were set, such as the design of a lightweight, rust-resistant structure that withstands climatic conditions, an effective cleaning mechanism, a transmission system for movement, a water spray system for dust removal, and an automatic and self-sustaining control system.

The methodology applied included descriptive, experimental, and prescriptive methods, using VDI 2221 and VDI 2225 design standards for the technical-economic evaluation. A solution was proposed that utilizes a solar panel and battery for self-sustaining power, a smart switch with Wi-Fi connectivity for remote programming and activation, and a sliding bridge system driven by a TR8X2-4p Acme screw for cleaning.

The results demonstrate a self-sustaining and automated cleaning mechanism design, with a structure utilizing 2020 V-Slot aluminum profiles, featuring light weight (7.86 kg structural, 16.61 kg total approximate) and high rigidity, with a minimum safety factor of 9. The bridge-type cleaning mechanism, similar to a windshield wiper, moves along the X axis at a 30° angle using an Acme screw that provides 8 mm of advance for every 360° of rotation and is self-locking. A water sprinkler system connected to the domestic grid, activated by a solenoid valve, was designed. It includes sprinklers on the collector and on the machine's solar panel. The control system, based on a WiFi smart switch and DPDT relays, allows for programmable periodic activation, improving safety by reducing human intervention when working at height and contributing to the environment by being self-sustaining.

Keywords: Cleaning mechanism, flat-roof collector, solar water heater, thermal efficiency, self-sustaining machine, automatic cleaning machine.

Índice

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO	15
1.1. Planteamiento y formulación del problema	15
1.2. Problema general.....	17
1.3. Problemas específicos	17
1.4. Objetivos	17
1.4.1. Objetivo general.....	17
1.4.2. Objetivo específico	18
1.5. Justificación e importancia	18
1.5.1. Justificación teórica	18
1.5.2. Justificación práctica	18
1.5.3. Justificación metodológica	18
1.5.4. Justificación social.....	19
1.5.5. Justificación ambiental	19
CAPÍTULO II	20
MARCO TEÓRICO	20
2.1. Antecedentes de la investigación	20
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	20
2.1.2. Antecedentes nacionales	21
2.2. Bases teóricas	23
2.2.1. Terma solar	23
2.2.2. Elementos de máquina.....	23
2.2.2.4. Sistema de control.....	29
CAPÍTULO III	31
METODOLOGÍA	31
3.1. Método y tipo de investigación	31
3.1.1. Método de investigación.....	31
3.1.2. Tipo de investigación	31
3.1.3. Materiales y métodos	32
3.1.3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución	32
3.1.3.2. Lista de exigencias.	33
3.1.3.3. Caja negra.....	34

3.1.3.4. Estructura de funciones	35
3.1.3.5. Análisis de la solución.....	37
3.1.3.6. Descripción de las posibles soluciones	38
3.1.3.7. Análisis técnico	41
3.1.3.8. Análisis económico	42
3.1.3.9. Análisis técnico-económico	43
3.1.3.10. Comparativo económico	44
3.1.4. Materiales y métodos	46
3.1.4.1. Cálculo del tornillo de avance.....	46
3.1.4.2. Criterios de selección de los componentes eléctricos	62
CAPÍTULO IV	64
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	64
4.1. Presentación de resultados	64
4.1.1. Diseño de mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares	64
4.1.2. Diseño de la estructura	66
4.1.3. Diseño del mecanismo de limpieza tipo puente	72
4.1.4. Diseño del sistema de transmisión	72
4.1.5. Diseño del sistema de rociado de agua	74
4.1.6. Diseño del sistema de control automático y autosustentable	75
4.2. Discusión de resultados	78
CAPÍTULO V	80
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	80
4.1. Conclusiones	80
4.2. Recomendaciones.....	81
Referencias bibliográficas	82

Índice de Tablas

Tabla 1. Tipos de engranajes.[9]	24
Tabla 2. Lista de exigencias.	33
Tabla 3. Grupos de dominios.	35
Tabla 4. Cuadro de funciones.....	36
Tabla 5. Matriz morfológica.....	37
Tabla 6. Evaluación técnica (Xi) según VDI2225.....	41
Tabla 7. Evaluación económica (Yi) según VDI2225.....	42
Tabla 8. Comparación económica con otros modelos similares en el mercado internacional.	44
Tabla 9. Coeficientes de rozamiento por deslizamiento para diferentes materiales. [18]	48
Tabla 10. Características de los componentes eléctricos seleccionados.	62
Tabla 11. Lista total de materiales requeridos para el diseño de la máquina.	65
Tabla 12. Características del perfil V-Slot 2020.	68
Tabla 13. Propiedades físicas del material.	69
Tabla 14. Configuración de la malla.	69
Tabla 15. Datos de la fuerza aplicada a la simulación.	69
Tabla 16. Resumen de resultados.....	70
Tabla 17. Características del motorreductor seleccionado.	75

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Distribución por tipo de colector solar térmico para la capacidad total.</i>	15
Figura 2. <i>Terma solar instalada en techo de escalera sin barandas de protección.</i>	17
Figura 3. <i>Partes de una terma solar. [18]</i>	23
Figura 4. <i>Nomenclatura de los dientes de engranaje. [9]</i>	24
Figura 5. <i>Cremallera básica ISO para engranajes de módulo métrico.</i>	25
Figura 6. <i>Diagrama de tornillo de potencia.</i>	26
Figura 7. <i>Fuerzas involucradas en el tornillo de potencia.</i>	26
Figura 8. <i>Terminología del rodamiento.</i>	28
Figura 9. <i>Sistema de control de lazo abierto.</i>	30
Figura 10. <i>Sistema de control de lazo cerrado.[9], [27], [28], [29]</i>	30
Figura 11. <i>Modelo VDI 2221 mostrando las etapas de diseño.</i>	32
Figura 12. <i>VDI 2225 Evaluación de diseño técnico y económico.</i>	33
Figura 13. <i>Caja negra.</i>	35
Figura 14. <i>Diagrama de funciones.</i>	36
Figura 15. <i>Solución 1 con tornillo de avance Acme y moto reductor.</i>	39
Figura 16. <i>Mecanismo de rociado de agua.</i>	39
Figura 17. <i>Placa Arduino uno.</i>	40
Figura 18. <i>Sistema de potencia con motores paso a paso y faja dentada.</i>	40
Figura 19. <i>Solución 2 con rodillo de limpieza y tanque de agua conectado a la corriente.</i>	41
Figura 20. <i>Evaluación técnico-económica según VDI2225.</i>	43
Figura 21. <i>Características rosca Acme.</i>	46
Figura 22. <i>Rosca Acme con 4 entradas.</i>	47
Figura 23. <i>Características de la barra roscada Acme TR8X2-4p.</i>	47
Figura 24. <i>Características rosca Acme.</i>	49
Figura 25. <i>Posición de trabajo de la máquina.</i>	50
Figura 26. <i>Ángulo α de la rosca del tornillo Acme con respecto a la posición de trabajo.</i>	50
Figura 27. <i>Puente de limpieza.</i>	51

Figura 28. <i>Masa calculada con el software de diseño 3D FreeCAD.</i>	51
Figura 29. <i>Desplazamiento de la fuerza F con respecto a la fuerza normal que actúa en el eje Y.</i>	52
Figura 30. <i>Características técnicas del motorreductor seleccionado de los datos del fabricante.</i>	54
Figura 31. <i>Características del rodamiento SKF 608-2RSH.</i>	57
Figura 32. <i>Masa del tornillo Acme calculada por el software FreeCAD.</i>	58
Figura 33. <i>Diagrama de cuerpo libre para determinar las cargas radiales y axiales del rodamiento.</i> ..	59
Figura 34. <i>Datos de cálculo del rodamiento SKF 608-2RSH proporcionado por el fabricante.</i>	60
Figura 35. <i>Diseño de mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana para termas solares.</i> .	64
Figura 36. <i>Diseño estructural de la máquina de limpieza con perfiles de aluminio V-Slot 2020.</i>	67
Figura 37. <i>Medidas del perfil V-Slot 2020.</i>	68
Figura 38. <i>Tensión de Von Mises.</i>	70
Figura 39. <i>Desplazamiento</i>	71
Figura 40. <i>Coefficiente de seguridad</i>	71
Figura 41. <i>Sistema de limpieza tipo puente.</i>	72
Figura 42. <i>Características del tornillo de potencia Acme TR8X2-4p.</i>	73
Figura 43. <i>Mecanismo de avance con tornillo de potencia Acme TR8X2-4p.</i>	73
Figura 44. <i>Vista superior del sistema de potencia de la máquina.</i>	74
Figura 45. <i>Sistema de rociado de agua.</i>	75
Figura 46. <i>Dimensiones del motorreductor.</i>	76
Figura 47. <i>Sistema eléctrico de control.</i>	76
Figura 48. <i>Caja de control.</i>	77
Figura 49. <i>Esquema eléctrico realizado en Crocodile Clips V3.5 para simular el giro de retorno.</i>	78

Índice de Fórmulas

(1).....	26
(2).....	27
(3).....	27
(4).....	27
(5).....	28
(6).....	29
(7).....	41
(8).....	42
(9).....	49
(10).....	49
(11).....	49
(12).....	51
(13).....	52
(14).....	52
(15).....	52
(16).....	53
(17).....	53
(18).....	53
(19).....	53
(20).....	54
(21).....	54
(22).....	55
(23).....	55
(24).....	55
(25).....	55
(26).....	56

(27)	56
(28)	56
(29)	56
(30)	56
(31)	57
(32)	57
(33)	59
(34)	59
(35)	59
(36)	60
(37)	60
(38)	61
(39)	61
(40)	61
(41)	61

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

En el mundo, el uso de energías renovables está tomando una vital importancia para ayudar a reducir el consumo de combustibles procedentes de energías no renovables. En los últimos años la utilización de termas solares para el calentamiento del agua está en constante desarrollo, buscando mejorar su eficiencia térmica, a la vez de implementar nuevas utilidades no solo para el hogar, sino también para la industria; En la Figura 1 se muestra el informe de calor solar del Federal Ministry Republic of Austria, en la página 61, se detallan los porcentajes globales por tipo de colector en termas solares utilizadas en el mundo [1]

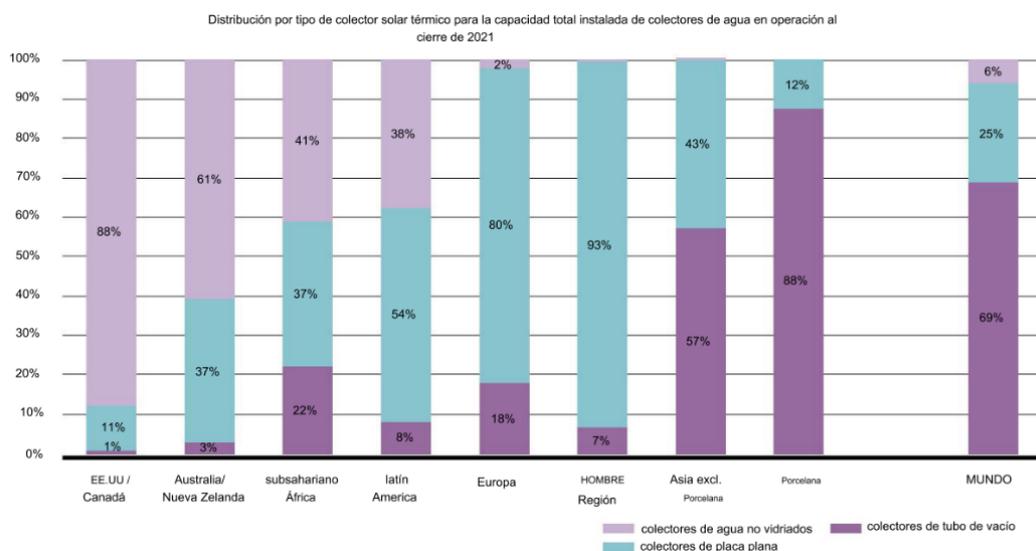


Figura 1. *Distribución por tipo de colector solar térmico para la capacidad total.*

A nivel global, aproximadamente un 55% de los sistemas solares térmicos son por termosifón, muy comunes en climas cálidos como África, América del Sur y el sur de Europa. En estas regiones, el sistema termosifón suele estar equipado en colectores de placa plana, mientras que en China el sistema termosifón se aplica en tubos de vacío.

Perú tiene la posibilidad de utilizar energías renovables como parte de una transición energética siendo una de ellas la energía que se contiene en la luz solar, donde se aprovecha esta energía para convertirla en calor, siendo llamada energía solar térmica. Se estima que hay aproximadamente 70,000 termas solares en ceja de selva, sierra y, mayormente, en la ciudad de Arequipa. [2]

La provincia de Arequipa presenta un clima favorable para utilizar termas solares; estos equipos aprovechan la radiación solar en colectores de tubos o de cubierta plana y el calentamiento del agua se realiza por convección de manera pasiva, generando el sistema de termosifón. Su instalación se realiza normalmente en la parte más alta de casas o edificios, dando una orientación al colector hacia el norte, ya que nos encontramos en el hemisferio sur, por debajo de la línea ecuatorial, con una inclinación del colector que varía de 30° a 45°.

El colector plano de una terma solar es un panel estático y es muy similar en forma y ubicación a un panel solar fotovoltaico. Mientras pasan los días, se va cargando de polvo, disminuyendo así su eficiencia térmica, requiriendo una limpieza constante. Según un estudio de “Optimización de limpieza de paneles solares en plantas fotovoltaicas”, se determinó que la frecuencia de limpieza sería cada 7 días. [3]

La tarea de limpieza del panel plano puede parecer simple, pero con el tiempo se vuelve una actividad tediosa de realizar, ya que estos paneles no siempre están en zonas accesibles, donde la altura es un factor de riesgo para las personas, ya que nadie considera el uso de barandas de seguridad en los laterales, como se observa en la Figura 2.

Algunas empresas energéticas emplean máquinas de limpieza en serie de varios paneles, como robots o drones; en el sector particular y en hoteles hay el servicio de limpieza a domicilio que implica un gasto recurrente.

Con lo mencionado anteriormente, se intenta proponer el diseño de un mecanismo de limpieza de colectores de cubierta plana en termas solares para facilitar la limpieza del panel y mejorar su eficiencia térmica.



Figura 2. *Terma solar instalada en techo de escalera sin barandas de protección.*

1.2. Problema general

¿Como diseñar un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares que pueda mejorar la eficiencia térmica?

1.3. Problemas específicos

- ¿Cómo sería la estructura de la máquina y qué material se podrá utilizar para soportar distintas condiciones climáticas?
- ¿Qué tipo de mecanismo se podría utilizar para la limpieza del colector de la terma solar?
- ¿Cómo sería el sistema de transmisión que pueda desplazar el mecanismo de limpieza?
- ¿Se podrá adicionar un sistema de rociado de agua en el mecanismo para facilitar la remoción de polvo acumulado?
- ¿Cómo podría activarse la máquina periódicamente?
- ¿La máquina podría ser autosustentable con la utilización de alguna energía renovable?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica.

1.4.2. Objetivo específico

- Diseñar la estructura utilizando un material ligero y con resistencia a la oxidación para soportar los cambios climáticos.
- Diseñar un mecanismo que pueda mantener limpio el colector con cubierta plana de la terma solar.
- Diseñar el sistema de transmisión para realizar el movimiento de desplazamiento del limpiador
- Diseñar el sistema de rociado de agua para facilitar la remoción del polvo acumulado en el colector de la terma solar.
- Diseñar un sistema de control para activar el mecanismo en secuencias preestablecidas.
- Seleccionar un sistema de energía renovable que pueda abastecer de corriente eléctrica a la máquina para que pueda ser autosustentable.

1.5. Justificación e importancia

1.5.1. Justificación teórica

La presente investigación aportará la utilización de nuevos conceptos técnicos que puedan ser aplicados para el diseño de un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica.

1.5.2. Justificación práctica

El impacto que tendrá el diseño del mecanismo de limpieza será positivo para la calidad de vida de los usuarios con una menor frecuencia de exposición a la limpieza y un mejor aprovechamiento térmico de la terma solar al mantener limpios los colectores.

1.5.3. Justificación metodológica

La investigación actual presenta un mejor procedimiento de limpieza, que brindará seguridad a los usuarios de las termas solares, reduciendo la frecuencia de exposición a las actividades manuales de limpieza del panel y manteniendo su integridad física. Adicionalmente se mejora su calidad de vida al obtener agua caliente a una temperatura adecuada gracias a la mejora de la eficiencia térmica de la terma solar por tener los colectores limpios.

El modelo podría extrapolarse a un uso empresarial donde los costos de mantenimiento multiplicados por el número de intervenciones al año y comparándolo con un modelo de

mantenimiento tradicional, se podría obtener una reducción del mismo con un sistema automático y autónomo de limpieza.

1.5.4. Justificación social

Por la incidencia solar de la zona, gran parte de la población arequipeña aprovecha este recurso para ser utilizado en termas solares en hogares, hoteles, empresas industriales, etc., contribuyendo a la economía familiar y empresarial.

El diseño del mecanismo de limpieza contribuye al bienestar de los usuarios de termas solares al no tener que realizar la limpieza manualmente de los colectores y obteniendo agua caliente con una mejor eficiencia térmica del sistema.

La máquina de limpieza, al ser autónoma y autosustentable, contribuye al bienestar de los usuarios con una mejor eficiencia energética para hogares y empresas.

1.5.5. Justificación ambiental

La terma solar es un mecanismo ecológico que contribuye con el medio ambiente evitando la utilización de energías no renovables y no generando un costo adicional por consumo energético en los usuarios.

El diseño del mecanismo de limpieza contribuye con el medio ambiente al mejorar la eficiencia térmica de la terma solar; se obtiene un mejor aprovechamiento de este recurso, y también al incorporar energía eléctrica obtenida de un panel solar para el funcionamiento del motor eléctrico que transmitirá movimiento al mecanismo.

Este trabajo de investigación también puede ser implementado en los diferentes tipos de industria, como alimentaria, minera, manufacturera, etc. En plantas solares, el modelo puede ser escalable para adaptarse a las dimensiones de trabajo.

La máquina, de limpieza al ser autónoma y autosustentable, obtendrá una buena eficiencia de trabajo, reducción de costos operativos, sostenibilidad ambiental, funcionamiento ininterrumpido, y finalmente se obtiene adaptabilidad para ser usada no solo en hogares, sino también en la industria; contribuye al cuidado y conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

Se mencionarán algunas investigaciones realizadas anteriormente que comparten semejanza con a presente tesis, revisando los avances que se han tenido con respecto a los distintos mecanismos de limpieza en paneles planos de termas solares y también se están considerando los mecanismos en limpieza de paneles solares, ya que se comparte un similar proceso de limpieza. Estas investigaciones aportarán conocimiento durante la investigación, realizando el adecuado referenciado de las citas correspondientes.

2.1.1. Antecedentes internacionales

En la planta fotovoltaica de Ovejería ubicada en Chile, se realizaba limpieza de los paneles solares con una frecuencia trimestral. Para ello se realizó un trabajo de investigación de optimización de limpieza de paneles solares en plantas fotovoltaicas donde se calcula la frecuencia de limpieza en paneles solares, llegando a estimar una frecuencia de limpieza cada 7 días, realizando pruebas en seco y húmedo, arrojando resultados positivos para el aprovechamiento de la energía solar, reduciendo la carga estática por el polvo en los paneles solares e incrementando la energía captada por los rayos solares. Se recomienda el tipo de limpieza húmeda, ya que elimina rápidamente el polvo, reduciendo la carga de polvo endurecida en el panel. [3]

La limpieza se ha convertido en una de las actividades necesarias en la vida cotidiana de todo ser humano, y al mismo tiempo es una actividad no tan preferida para realizar. También en algunos lugares es una actividad peligrosa para el personal.

El objetivo que se busca es el presente trabajo de investigación es diseñar un mecanismo semiautomático de autolimpieza para paneles solares, con el fin de lograr un proceso más seguro y eficiente.

Para la eliminación del polvo se tienen los siguientes métodos: métodos mecánicos (vibración mecánica, limpieza ultrasónica, fregado y trapeado), métodos mediante nanofilm (material súperhidrofóbico, material súperhidrofóbico), métodos electrostáticos.

La estructura es fundamental para que el mecanismo pueda soportarse, ya que permitirá el movimiento y desplazamiento del mecanismo durante el trabajo de limpieza. Las varillas son de acero inoxidable donde se desplazarán los cojinetes lineales que permitirán el movimiento.

Se presentó un gran reto para obtener un estimado de la tasa de ensuciamiento, porque es un factor dinámico que varía por el factor climático, dirección del viento, ubicación geográfica, requiriéndose de un análisis detallado y multidisciplinario para entender mejor el comportamiento del polvo. [4]

Una terma solar presenta algunos principios físicos para su funcionamiento, el uso de pintura mate que absorbe la radiación tanto la directa como la difusa, el efecto invernadero generando una trampa de calor por el vidrio colocado en el panel plano, la conducción de calor en cada gradiente de temperatura establece su paso por las láminas hacia el tubo y finalizando en el agua, al tener una diferencia de temperaturas en el agua se comienza a variar su densidad dando lugar al desplazamiento del agua caliente hacia la parte superior porque su densidad ha disminuido por la temperatura y dejando el agua fría en la parte inferior donde será calentada por el panel solar a esta circulación natural del agua se le conoce como sistema por termosifón. [5]

2.1.2. Antecedentes nacionales

La energía solar es un recurso beneficioso para el ser humano y el medio ambiente, y el aprovechamiento que se pueda tener en obtener la máxima eficiencia térmica será beneficioso para todos.

Se indica que la terma solar requiere escaso mantenimiento para seguir funcionando, pero se recomienda una limpieza semanal del vidrio para dejar paso libre a la incidencia de los rayos solares sobre los colectores y así poder conservar su eficiencia térmica.

Se construyó una terma solar que utiliza un colector tipo plano con tuberías de cobre que tienen una longitud de 1.5 m de largo por 1 m de ancho y otro colector de tuberías CPVC con las mismas dimensiones que el anterior. La medición de temperaturas se realizó en 3 condiciones: día nublado, día mixto nublado-sol y día con sol. El colector con tubos de

CPVC obtuvo más temperatura, obteniendo una mayor eficiencia a diferencia de los tubos de cobre, recomendando el uso de termas solares con colectores planos con tubos y accesorios de CPVC para las zonas altoandinas. [6]

Una terma solar está compuesta por un colector solar, tuberías y un tanque de almacenamiento. Los colectores de placa plana tienen una superficie oscura que ayuda a la absorción y transformación en calor, que luego se transfiere a los tubos y luego al fluido caloportador.

Se presentan metodologías experimentales que evaluarán los colectores solares para que se realice a futuro una certificación de fabricación y funcionamiento de estos equipos, siendo requerida la implementación de normas de calidad en termas solares con especificaciones técnicas definidas.

Los parámetros que establecen un nivel de calidad en la fabricación y correcto funcionamiento de un colector solar son el rendimiento para la conversión, grado de utilización, el coeficiente total de pérdida térmica (U_L) y la eficiencia óptica, según estándares mundiales.

Se realizó la evaluación de la eficiencia óptica bajo el método indicado, dando un valor de 0.80, indicando que es aceptable debido a la doble cubierta de vidrio, el tipo de pintura que se usó en la placa absorbente y el tipo de colector.

Se recomienda el uso de termas solares para aprovechar adecuadamente el uso de la energía eléctrica, mejorando la calidad de vida de los usuarios y ayudando a la conservación del medio ambiente. [7]

Se intenta demostrar la viabilidad del uso de termas solares con el propósito de aprovechar el uso de una energía renovable para beneficio de los usuarios domésticos y cuidado del medio ambiente. Se diseñó un sistema termo solar de circuito abierto con materiales comerciales, siendo los componentes utilizados un tanque de polietileno de 80 litros cubierto con material aislante, colector plano con tuberías de PVC en forma de espiral para la conducción de agua y facilitando la transferencia de calor.

El prototipo alcanzó mejores temperaturas que otros modelos convencionales con tubos PVC logrando una eficiencia térmica promedio de 27.54% en el día y en la noche con algunos días nublados. Se recomienda el uso de termas solares en el hogar, ya que logra cierta eficiencia térmica a pesar de estar algunos días nublados. [8]

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Terma solar

2.2.1.1. Principio de funcionamiento de la terma solar

Una terma solar transforma la energía solar en calor a través de un colector solar. Al calentarse el agua, su densidad va disminuyendo, trasladándose a la parte superior y el agua fría tiende a bajar, dando lugar a un fenómeno natural llamado circulación por termosifón o convección natural, tal como se percibe en la Figura 3.

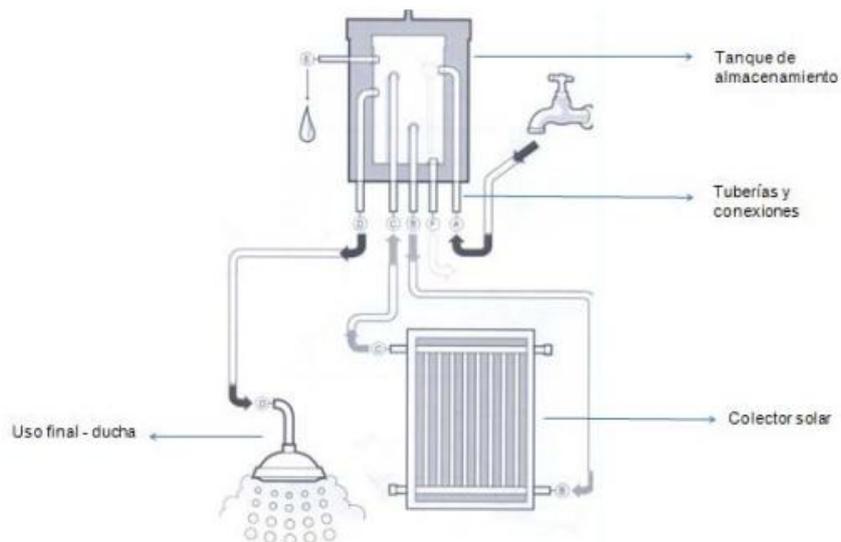


Figura 3. *Partes de una terma solar.* [18]

Los colectores solares deben tener una alta absorción de radiación en el espectro de energía solar. Al mismo tiempo, pierden energía por una combinación de mecanismos 7, incluida la radiación térmica de la superficie absorbente, y es deseable tener la emitancia de onda larga de la superficie lo más baja posible para reducir las pérdidas. [5]

2.2.2. Elementos de máquina

2.2.2.1. Engranajes

Los engranes se agrupan de acuerdo con la forma de sus dientes, disposición de árboles, paso y calidad, las formas de dientes y disposición de dientes, como se muestra en Tabla 1.

Tabla 1. *Tipos de engranajes.* [9]

Tipo	Posición
Forma de dientes	Disposición de los árboles
Rectos	Paralelos
Helicoidales	Paralelos u oblicuos
De tornillo sin fin	Oblicuos
Cónicos	Que se intersecan
Hipoidales	Oblicuos

Las divisiones de paso son ancho y fino; los tipos de calidad son comercial, de precisión y de ultra precisión.

El paso que se traza con relación al diámetro es el número de dientes que tiene el engranaje respecto al diámetro del círculo de paso. También se tiene el paso circular que sería la medida lineal a lo largo del círculo de paso entre los puntos correspondientes de dientes adyacentes, tal como se percibe en la Figura 4.

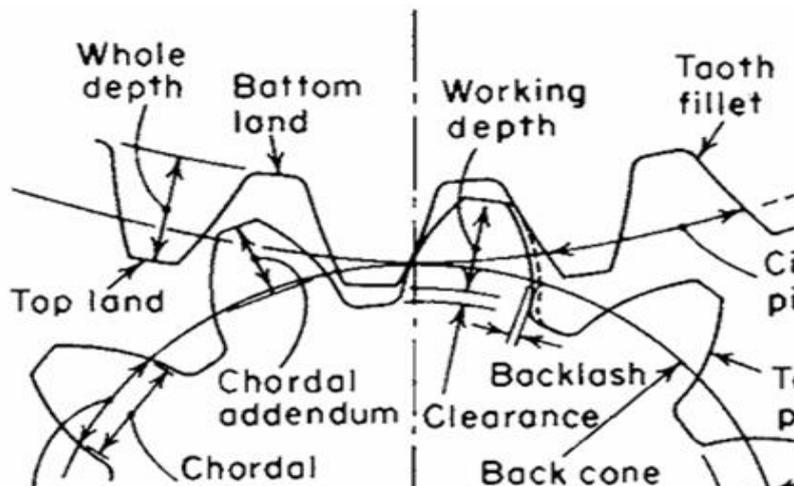


Figura 4. *Nomenclatura de los dientes de engranaje.* [9]

Teniendo las definiciones anteriores, se determina que el paso base sería la distancia que está a lo largo de la línea de acción que están en las superficies continuas de los dientes de involuta, por lo que los pasos base y circular se encuentran relacionados con el coseno del ángulo de presión $P_b = p \cdot \cos\phi$.

Los engranes métricos no solo se basan en diferentes medidas de longitud, sino que también comprenden su propia y única norma de diseño; esto significa que los engranes métricos y los engranes de paso diametral no son intercambiables.

En el sistema métrico, el módulo es análogo al paso y se define como

$$m = \frac{D}{N} = \text{milímetros de diámetro de paso por diente.}$$

Las proporciones de los dientes para engranajes métricos se especifican por el módulo métrico de la ISO en términos de la cremallera básica, tal como se percibe en la figura 5.

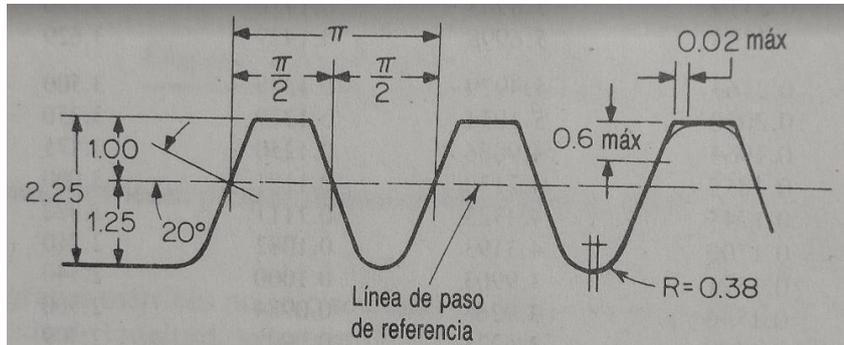


Figura 5. Cremallera básica ISO para engranajes de módulo métrico.

Los engranajes estándar preferidos del sistema métrico son los intercambiables con los tamaños preferidos de paso diametral; se listan los pasos y los módulos usados comúnmente en ambos sistemas.

Los engranajes helicoidales se dividen en dos aplicaciones generales: para impulsar árboles paralelos y para impulsar árboles oblicuos, en cuyo caso se les conoce como engranajes helicoidales de ejes cruzados.

Los engranajes de tornillo sin fin se usan para obtener grandes reducciones de velocidad entre árboles que no se intersecan y que forman un ángulo de 90° uno con respecto al otro.

2.2.2.2. Tornillo de potencia

En los tornillos de potencia que se utilizan en distintos tipos de máquinas para transmitir potencia, amplificando fuerzas y convirtiendo un movimiento rotacional en lineal, determinando su avance por la distancia en el paso. Adicionalmente, se utilizan diferentes tipos de rosca en “V”, “V” redondeada, cuadrada, rectangular, Acme 29°, Acme truncada, Trapezoidal 7°, Redonda, por mencionar algunos.

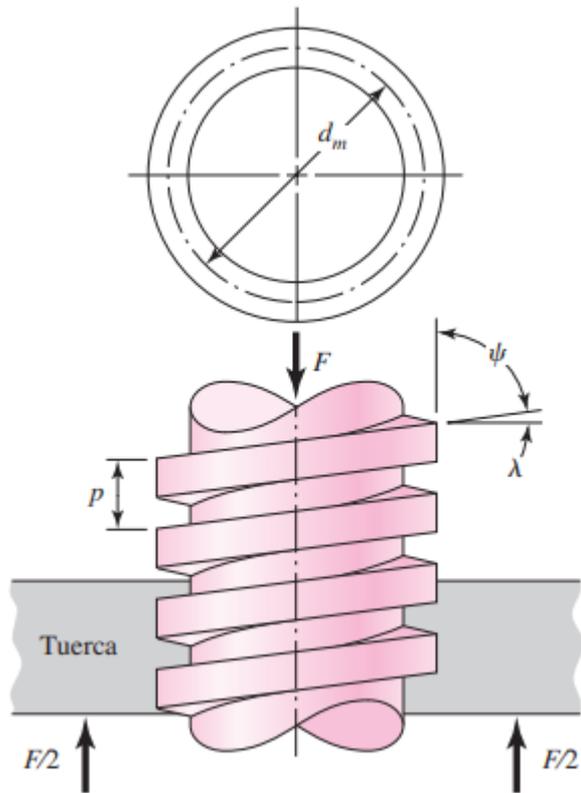


Figura 6. Diagrama de tornillo de potencia.

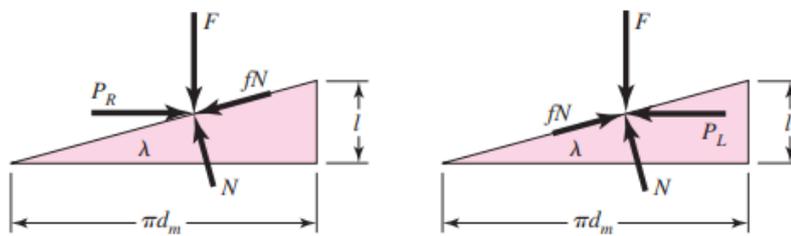


Figura 7. Fuerzas involucradas en el tornillo de potencia.

$$T_u = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{1 + \frac{\pi f \cdot d_m}{\cos \alpha}}{\pi d_m - \frac{f \cdot p}{\cos \alpha}} \right) + f \cdot F \cdot \frac{d_c}{2} \quad (1)$$

$$T_d = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{1 - \frac{\pi f \cdot d_m}{\cos \alpha}}{\pi d_m - \frac{f \cdot p}{\cos \alpha}} \right) + f \cdot F \cdot \frac{d_c}{2} \quad (2)$$

$$e = \frac{Fp}{2\pi T_u} \quad (3)$$

$$f \geq \frac{p}{\pi d_m} \cdot \cos(\alpha) \quad (4)$$

Donde:

d_m : diametro medio. [mm]

p : paso. [mm]

λ : ángulo de avance. [°]

ψ : ángulo de la hélice. [°]

F : fuerza de compresión axial. [N]

f : coeficiente de fricción.

α : ángulo de la cuerda. [°]

e : eficiencia del tornillo.

2.2.2.3. Cojinetes de rodamiento

Los cojinetes de rodamientos, también conocidos como rodamientos, son elementos de máquina que sirven para soportar las cargas a las que se encuentra sometido un eje. Estas cargas se transfieren por medio de los elementos rotativos que permiten una rotación suelta con baja presencia de fricción. Constan de elementos rodantes (bolas o rodillos) entre un anillo exterior y uno interior; se usan las jaulas para espaciar los elementos rodantes entre sí, tal como se percibe en la Figura 8.

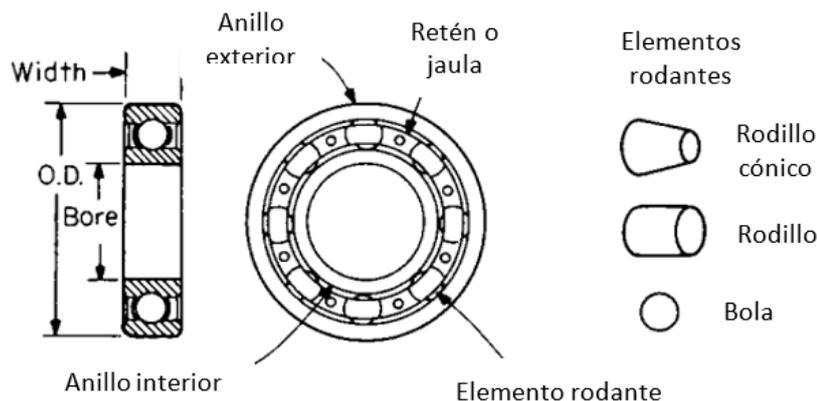


Figura 8. Terminología del rodamiento.

Los anillos exteriores e interiores son fabricados generalmente con acero SAE 52100, con un endurecido que va desde 60 hasta los 67 Rockwell C. Para maquinarse los canales que tienen los elementos rodantes tienen que hacerse con precisión en los anillos para lograr un buen acabado preciso de 16 μ pulg o menos.

En algunas aplicaciones donde existe el problema de corrosión, se utilizan anillos fabricados para fines específicos en distintos materiales como plástico, cerámica y acero inoxidable.

Los elementos rodantes, bolas o rodillos, son fabricados normalmente con el mismo material y acabados de los anillos. Se suele utilizar otro material en los elementos rodantes, como plástico, Monel, acero inoxidable, cerámica, en conjunto con los distintos tipos de materiales para anillos donde la corrosión sea un problema.

Dentro de los rodamientos, las jaulas (o separadores) tienen la función crucial de distanciar sus elementos internos. Se fabrican a partir de una variedad considerable de materiales, siendo el acero uno de los más comunes, y su construcción suele ser mediante remachado o doblado. Cuando se necesitan altas velocidades o una resistencia superior, se utilizan jaulas sólidas, confeccionadas en bronce o plásticos sintéticos.

Se han desarrollado fórmulas estándar como la Formula 5 utilizada para la predicción de la vida nominal estadística de un cojinete en cualquier conjunto especificado de condiciones. Estas fórmulas se basan en una relación exponencial de la carga respecto a la vida, siendo establecidas por ensayos e investigaciones extensas.

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^K 10^6 \quad (5)$$

Donde:

L_{10} = vida nominal, revoluciones

C = carga nominal básica

P = Carga radial equivalente, lb

K = constante

$K = 3$ para cojinetes de bolas, $\frac{10}{3}$ para cojinetes de rodillos

Para convertir en horas de vida (L_{10}), se considera la siguiente Fórmula 6.

$$L_{10} = \frac{16700}{N} \left(\frac{C}{P} \right)^K \quad (6)$$

Donde:

N = velocidad de rotación, r/min

2.2.2.4. Sistema de control

Se centra en el uso de elementos sistemáticos para el control en maquinaria y procesos industriales con ayuda de controladores como PLC y PAC, control numérico o servomecanismos; de esta manera se reduce la intervención humana.

En el concepto de industrialización se considera a la automatización que está un paso por delante en relación con la mecanización. Este último provee a las personas con maquinaria que ayuda en las exigencias físicas, mientras que la automatización reduce el uso de exigencias sensoriales y mentales, los procesos pueden ser automatizados.

Cuando se aplica el control a la industria, se le da el nombre de control de procesos, ocupándose de algunas variables como presión, temperatura, caudal, tiempo, etc., en un proceso químico de planta.

Los controles automáticos están clasificados en lazo abierto y lazo cerrado. En el caso de los controles automáticos de lazo abierto, la salida no influye sobre la entrada; a cada entrada le corresponde una condición de trabajo fija.

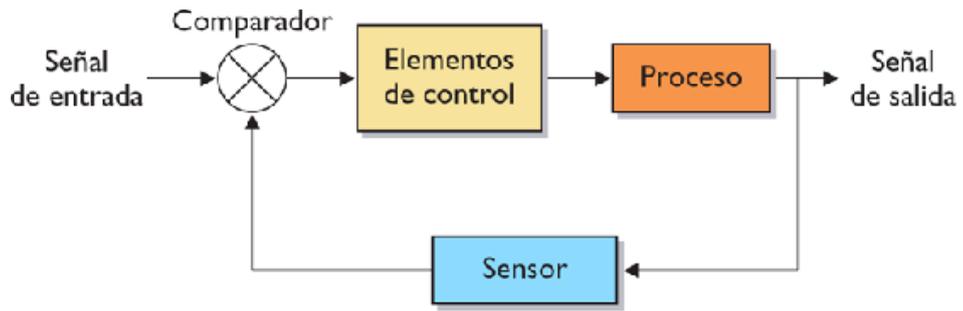


Figura 9. Sistema de control de lazo abierto.

En el caso de control de lazo cerrado, la activación de control depende de la señal de respuesta.

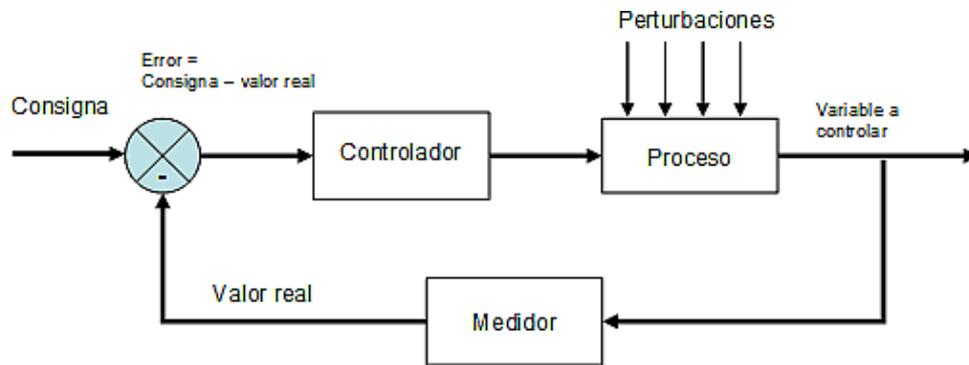


Figura 10. Sistema de control de lazo cerrado.[9], [27], [28], [29]

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Método y tipo de investigación

3.1.1. Método de investigación

En el presente trabajo de investigación se estará usando los siguientes métodos: descriptivo, experimental y prescriptivo.

En el método descriptivo inicia con el conocimiento cuando se realiza una observación directa, adicionando el conocimiento que se adquiere cuando se revisa bibliografía de otros autores, aportándonos un conocimiento adicional. [10]

En el método experimental se valida una hipótesis cuando se le enfrenta a una experimentación, normalmente este método es bastante usado en las ciencias exactas. [11]

En el modelo prescriptivo se enfoca en la realización de un diseño de acuerdo con un modelo sistemático que sigue una secuencia lógica, brindando al diseñador un enfoque global del desarrollo del producto.

Uno de estos modelos prescriptivos es el desarrollado por el cuerpo de ingenieros alemanes, Verein Deutscher Ingenieure (VDI), donde desarrollaron la norma VDI 2221 tal como se percibe en la Figura 11.

3.1.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se utiliza en la presente tesis es de tipo tecnológico, ya que se estará realizando el diseño y simulación de un mecanismo de limpieza del panel del colector en termas solares.

La investigación tecnológica se centra en la reconstrucción de procesos, sistemas, máquinas ya desarrolladas para mejorar y/o solucionar un problema partiendo como base de la observación para luego hacer una reflexión y finalmente pasar a la praxis, es la reflexión y repensar la máquina, así mismo se evalúa tecnologías aplicadas hasta el momento, también se reflexiona sobre las funciones de la máquina. [13]

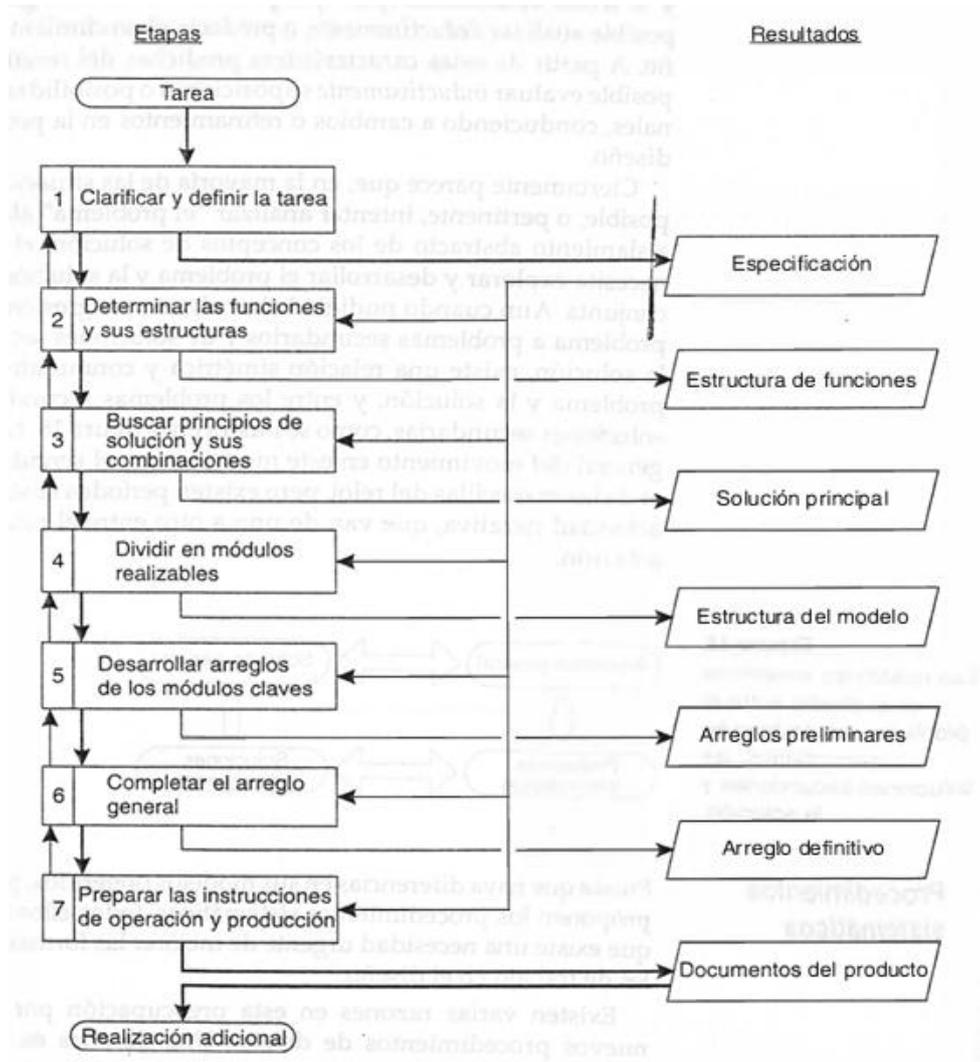


Figura 11. Modelo VDI 2221 mostrando las etapas de diseño.

3.1.3. Materiales y métodos

3.1.3.1. Metodología aplicada para el desarrollo de la solución

Se estará utilizando la norma de diseño VDI 2221 y, para la evaluación técnico-económica, se estará utilizando la norma VDI 2225 que está dirigida a la toma de decisiones, tal como se percibe en la Figura 12.

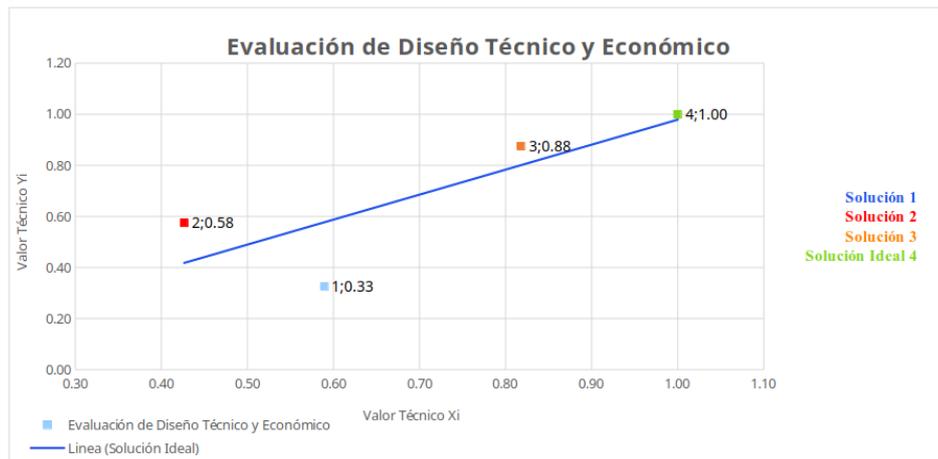


Figura 12. VDI 2225 Evaluación de diseño técnico y económico.

3.1.3.2. Lista de exigencias.

El punto de partida que se tiene para la elaboración de la lista de exigencias es el objetivo general, ya que va de acuerdo con las necesidades requeridas, a continuación, se muestra la lista de exigencias elaborada en la Tabla 2.

Tabla 2. Lista de exigencias.

Deseo (D) o Exigencia (E)	Descripción	Responsable
E	FUNCIÓN PRINCIPAL: Limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica.	M.A.C.O.
E	GEOMETRÍA: El mecanismo de limpieza deberá poder instalarse sobre el colector de cubierta plana en una terma solar.	M.A.C.O.
D	CINEMÁTICA: El movimiento que desarrollará el mecanismo de limpieza será rotacional, convirtiéndose en un movimiento lineal, y su velocidad estará determinada por el control que se determine en los motores reductores.	M.A.C.O.
E	FUERZAS: La fuerza que deberá tener el mecanismo de limpieza tendrá que ser la suficiente para desplazar el soporte de limpieza.	M.A.C.O.
E	ENERGÍA: La energía que utilizará el mecanismo de limpieza será solar, apoyada con una batería de 12v que servirá como acumulador de tensión.	M.A.C.O.

E	<p>MATERIAL: Se está considerando el uso de aluminio en la mayoría de las piezas del mecanismo de limpieza, teniendo en cuenta no solo la resistencia mecánica, sino también la resistencia a la corrosión, polvo y agua.</p>	M.A.C.O.
D	<p>SEÑALES: El mecanismo de limpieza tendrá un control temporizado de activación para realizar la limpieza programada. Se tendrá un interruptor inteligente de control donde se le programa la secuencia de activación y también se conecta por wifi para su activación a distancia.</p>	M.A.C.O.
E	<p>MONTAJE Y DESMONTAJE: El montaje del mecanismo de limpieza quedará fijo según la dimensión del colector de la terma solar, teniendo su propia estructura de soporte.</p>	M.A.C.O.
E	<p>SEGURIDAD: El mecanismo de limpieza mantendrá una baja intervención de los usuarios al tener una activación automática mediante un temporizador; adicionalmente, se tendrá un control manual con monitoreo y activación a distancia.</p>	M.A.C.O.
E	<p>ERGONOMÍA: El monitoreo de la activación temporizada y/o el control a distancia permitirá la comodidad de los usuarios desde su zona de confort.</p>	M.A.C.O.
D	<p>USO: El mecanismo de limpieza deberá tener medidas preventivas ante la corrosión, humedad, polvo y cierta hermeticidad al agua.</p>	M.A.C.O.
E	<p>FECHA DE ENTREGA: El diseño del mecanismo se entregará en diciembre del 2024</p>	M.A.C.O.

3.1.3.3. Caja negra

Para la aplicación de caja negra o black-box, se identifica cuáles son los elementos periféricos de la máquina, diferenciándolos de manera independiente como elementos de entrada y elementos de salida, tal como se percibe en la Figura 13.

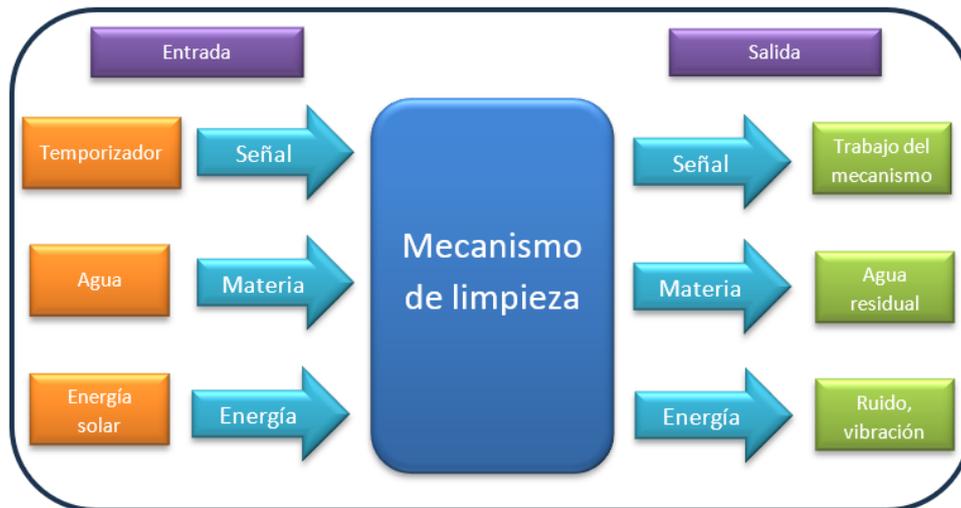


Figura 13. *Caja negra.*

- Entradas
 - Señal: Control del mecanismo temporizado.
 - Materia: agua
 - Energía: Energía solar convertida en energía eléctrica
- Salidas
 - Señal: Trabajo del mecanismo
 - Materia: Agua residual con material particulado
 - Energía: Ruido, vibración, fricción.

3.1.3.4. Estructura de funciones

Las funciones del mecanismo están clasificadas en tres grupos de dominios: mecánico, eléctrico y control, como se aprecia en la Tabla 3.

Tabla 3. *Grupos de dominios.*

Dominio mecánico	Dominio electrónico	Dominio de control
Generar movimiento rotacional y convertirlo a movimiento lineal	Energía solar convertida en eléctrica	Sistema de control
Desplazar el polvo del colector	Baterías de alimentación.	
	Identificación del final de carrera.	
	Interruptor inteligente	

Luego se genera el diagrama de funciones tal como se percibe en la Figura 14.

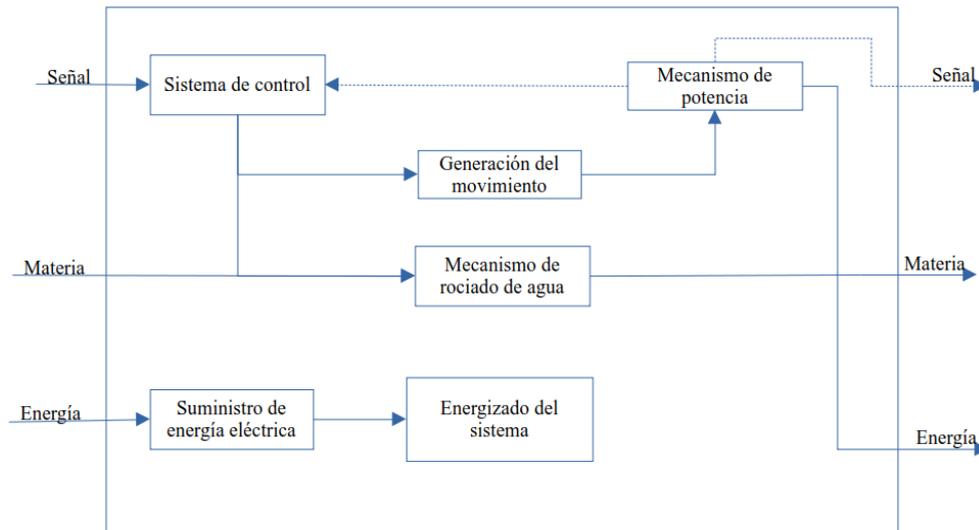


Figura 14. *Diagrama de funciones.*

Las funciones son detalladas en la Tabla 4:

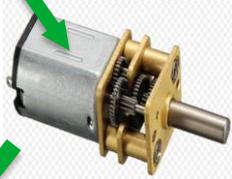
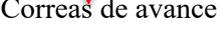
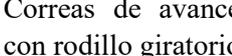
Tabla 4. *Cuadro de funciones.*

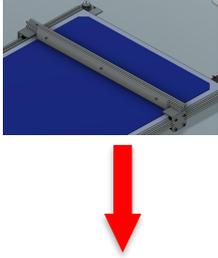
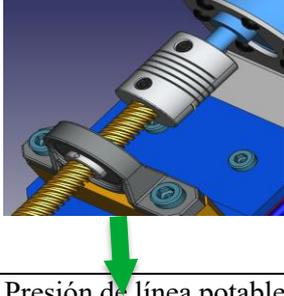
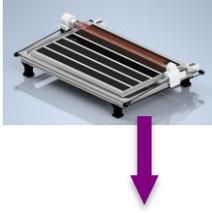
Función	Tarea
Suministro de energía eléctrica	Recibe la energía proveniente del panel solar y la almacena en la batería para ir siendo usada en el sistema.
Energizado del sistema	Se encarga de proveer voltaje a todo el sistema como actuadores y componentes electrónicos
Sistema de control	Por intermedio de del temporizador inteligente, se realiza la activación de los 2 motorreductores y de la electroválvula del mecanismo de rociado de agua.
Generación del movimiento	Se genera el movimiento del tornillo de avance
Mecanismo de potencia	Realiza el movimiento giratorio del tornillo Acme y lo convierte en movimiento lineal, desplazándose en el eje x.
Mecanismo de rociado de agua	Es activado al iniciar el movimiento de desplazamiento

3.1.3.5. Análisis de la solución

Para obtener una adecuada decisión en la lección de componentes para el diseño, se empleará la aplicación de una matriz morfológica tal como se percibe en la Tabla 5.

Tabla 5. *Matriz morfológica.*

Función	Solución 1	Solución 2	Solución 3
Suministro de energía eléctrica	Panel solar 	Fuente de alimentación AC 	Generador eléctrico 
Energizado del sistema	Batería 		Conexión directa 
Sistema de control	Arduino Uno 	Interruptor inteligente 	Timer PLC 
Generación del movimiento	Motor paso a paso 	Servomotor 	Motoreductor AC 
Mecanismo de potencia	Correas de avance 	Tornillo de avance 	Correas de avance con rodillo giratorio 

			
Mecanismo de rociado de agua	Alto flujo de aire y agua 	Presión de línea potable 	Presión con depósito de agua móvil 

3.1.3.6. Descripción de las posibles soluciones

Solución 1

En esta solución, la máquina recibe alimentación de corriente desde un panel solar y es almacenada en una batería para luego ser direccionada bajo demanda por un controlador del sistema de alimentación solar. El sistema de control utiliza un interruptor inteligente con conexión wifi para realizar la programación de las secuencias de activación de la máquina por medio de una aplicación desde el celular. Luego se activa el motorreductor y se utiliza un sistema de puente corredizo que es impulsado por un tornillo de ACME TR8X2-4p, tal como se percibe en la Figura 15.

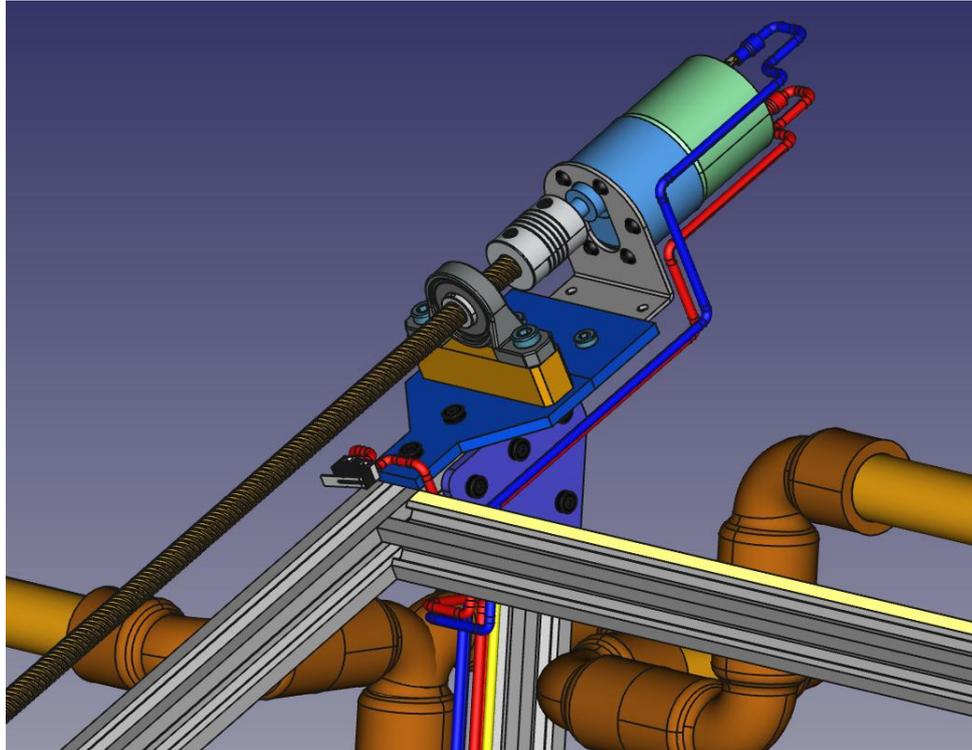


Figura 15. *Solución 1 con tornillo de avance Acme y moto reductor.*

El tornillo Acme recibe el par motor necesario de un motorreductor. La máquina cuenta con un mecanismo de rociado de agua que está conectado, a la línea de agua potable de la casa; el rociado de agua es activado por una electroválvula controlada por el interruptor inteligente, El agua sale por unos aspersores que dirigen el chorro hacia el colector de cubierta plana, tal como se percibe en la Figura 16.

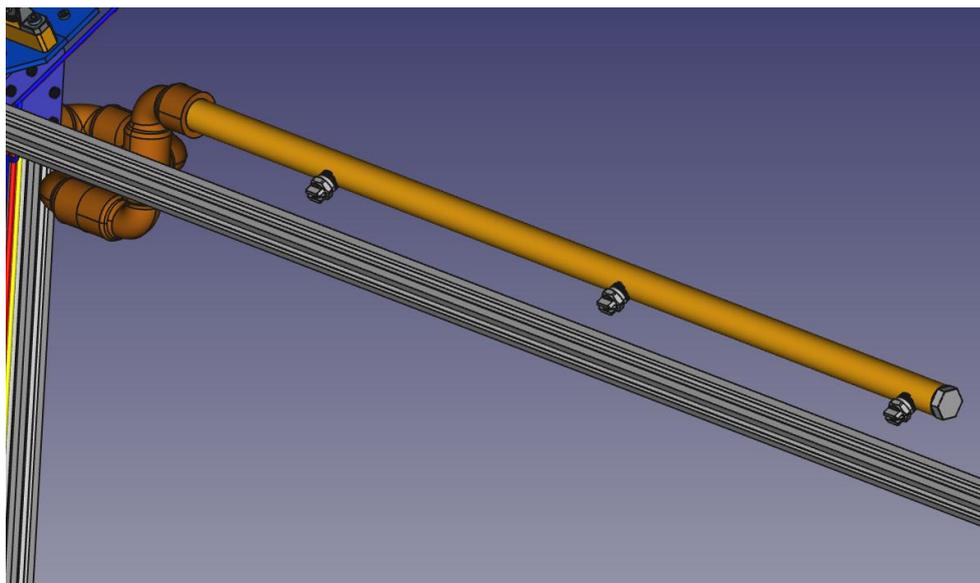


Figura 16. *Mecanismo de rociado de agua.*

Solución 2

Se considera la alimentación de la máquina con corriente de la red con conexión directa y en el sistema de control sería por medio de una placa Arduino, tal como se percibe en la Figura 17.



Figura 17. *Placa Arduino uno.*

Para el sistema de transmisión se consideran unos motores paso a paso Nema 17 que propulsan unas fajas dentadas, tal como se percibe en la Figura 18.

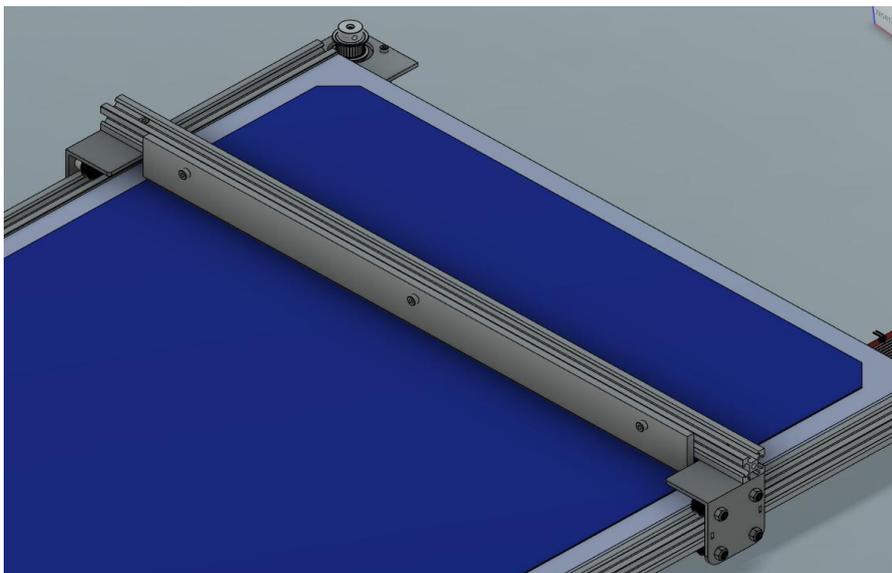


Figura 18. *Sistema de potencia con motores paso a paso y faja dentada.*

Solución 3

Para esta solución la máquina utiliza un generador de corriente portátil que alimenta con corriente alterna al sistema de control PLC con timer, siendo impulsado por un sistema de correa o faja que son movidas por 2 servomotores 360, presenta un sistema de rodillo giratorio con escobillas para realizar la limpieza, contiene un depósito para almacenar el agua y la realiza el rociado durante la limpieza utilizando un motor CA para impulsar la bomba de agua, tal como se percibe en la Figura 19.



Figura 19. Solución 2 con rodillo de limpieza y tanque de agua conectado a la corriente.

3.1.3.7. Análisis técnico

Se realiza el análisis técnico de acuerdo con la norma VDI 2225 para cada solución, como se aprecia en la Tabla 6, aplicando la siguiente Fórmula 7.

$$x_1 = \frac{g_1 \times p_1 + g_2 \times p_2 + \dots + g_n \times p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \times p_{max}} \quad (7)$$

Tabla 6. Evaluación técnica (Xi) según VDI2225.

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DEL PROYECTO	Diseño Mecánico
Valor Técnico Xi	
Proyecto: Diseño de un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica	
p: puntaje de 0 a 4 (escala de valores según VDI 2225)	

0=insuficiente, 1=aceptable, 2=suficiente, 3=bien, 4=muy bien (ideal)
g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación

Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variante de concepto / Proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal			
Nº	Criterios de evaluación	gg	pp	gp	pp	gp	pp	gp	pp	gp	pp
1	Buen uso de la fuerza o energía	9	3	27	2	18	3	27	4	36	
2	Seguridad	10	4	40	1	10	3	30	4	40	
3	Rapidez	6	3	18	2	12	2	12	4	24	
4	Estabilidad	7	3	21	2	14	3	21	4	28	
5	Rigidez	7	3	21	1	7	3	21	4	28	
6	Manipulación	8	3	24	2	16	2	16	4	32	
7	Confiabilidad	3	2	6	2	6	3	9	4	12	
8	Facilidad de manejo	8	3	24	2	16	2	16	4	32	
9	Calidad de trabajo	3	2	6	1	3	2	6	4	12	
10	Complejidad	4	3	12	2	8	2	8	4	16	
11	Lista de exigencias	1	2	2	1	1	2	2	4	4	
12	Número de piezas	2	3	6	1	2	2	4	4	8	
13	Productividad	5	4	20	1	5	1	5	4	20	
14	Pocos desperdicios	2	3	6	0	0	3	6	4	8	
15	Número de operarios	5	4	20	3	15	2	10	4	20	
16	Facilidad de montaje	6	4	24	2	12	2	12	4	24	
17	Fácil mantenimiento	6	4	24	2	12	2	12	4	24	
	Puntaje máximo Σgp	92	53	301	27	157	39	217	68	368	
	Valor técnico Xi			0.82		0.43		0.59		1.00	

3.1.3.8. Análisis económico

Se realiza el análisis económico según la norma VDI 2225 como se puede apreciar en la Tabla 7, aplicando la siguiente Fórmula 8.

$$y_1 = \frac{g_1 \times p_1 + g_2 \times p_2 + \dots + g_n \times p_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \times p_{max}} \quad (8)$$

Tabla 7. Evaluación económica (Yi) según VDI2225.

DISEÑO MECÁNICO - EVALUACIÓN DEL PROYECTO	Diseño Mecánico
Valor Económico Yi	
Proyecto: Diseño de un mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares para mejorar su eficiencia térmica	

p: puntaje de 0 a 4 (escala de valores según VDI 2225)

0=insuficiente, 1=aceptable, 2=suficiente, 3=Bien, 4=muy bien (ideal)

g: es el peso ponderado y se da en función de la importancia de los criterios de evaluación

Criterios de evaluación para diseños en fase de conceptos o proyectos											
Variante de concepto / proyecto		Solución 1		Solución 2		Solución 3		Solución Ideal			
Nº	Criterios de evaluación	gg	pp	gp	pp	gp	pp	gp	pp	gp	pp
1	Fácil adquisición de materiales	4	4	16	2	8	1	4	4	4	16
2	Costo de la tecnología	5	3	15	2	10	1	5	4	4	20
3	Costo de mantenimiento	3	4	12	3	9	2	6	4	4	12
4	Costo de diseño	5	3	15	2	10	1	5	4	4	20
5	Tiempo de vida	3	4	12	3	9	3	9	4	4	12
	Puntaje máximo Σgp	20	18	70	12	46	8	29	20	20	80
	Valor económico Y_i		0.88	0.58	0.36	1.00					

3.1.3.9. Análisis técnico-económico

Se realiza una comparativa del valor técnico (X_i) con el valor económico (Y_i) en relación con la línea media como solución ideal, considerando la solución que se encuentre más cerca de 1, donde se considera la solución ideal, como se puede apreciar en la Figura 20.

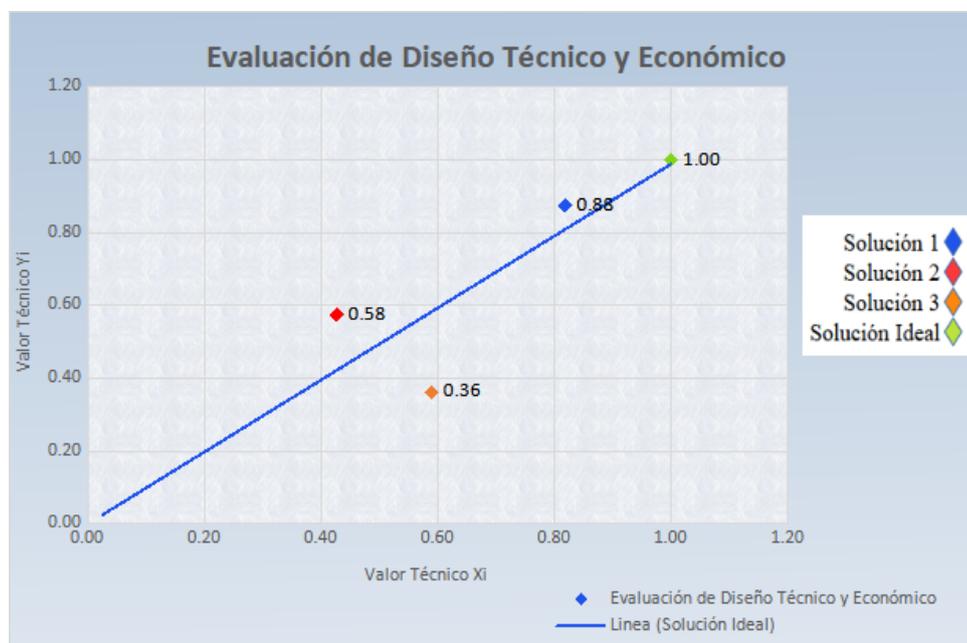


Figura 20. Evaluación técnico-económica según VDI2225.

3.1.3.10. Comparativo económico

Se realiza una comparación económica entre el diseño propuesto y algunos modelos similares que se utilizan para limpieza de paneles fotovoltaicos. Se seleccionaron estos modelos porque no se encuentran máquinas similares para la limpieza de paneles solares térmicos. Esta comparación económica se presenta la Tabla 8 donde se menciona el nombre de la máquina y sus características más resaltantes que cada fabricante detalla seguido del precio, en este punto se resalta que no se considera los gastos de importación como flete, desaduanaje, impuestos, etc. adicionalmente los precios han sido convertidos a moneda peruana en soles al tipo de cambio del día 2025-04-11:

Tabla 8. *Comparación económica con otros modelos similares en el mercado internacional.*

Máquina	Descripción	Precio
Robot de limpieza automático SCM MODELO S2 [14]	<ul style="list-style-type: none"> • Transmisión automática. • Se programa. • Realiza limpieza con y sin agua. • Recibe tensión alterna o continua. • 2 cepillos. • Se enlaza con varios equipos. • Superación de saltos. • Ligero y portátil. • Adaptable 25cm a diferentes medidas de panel. 	S/. 58,860.00
Robot L1 [15]	<ul style="list-style-type: none"> • Rodillos de 2,45 m de longitud para una limpieza óptima • Batería con 4 horas de duración. • Tiene control a distancia con cámara. • Opera con paneles hasta con 27° de inclinación. 	Precio no disponible
Máquina de limpieza fotovoltaica X601 Modelo 1630-1670mm [16]	<ul style="list-style-type: none"> • Peso de la batería: 6,5 kg/pieza • Velocidad de viaje: 15 m/min • Fuente de alimentación: 2 baterías de litio • Capacidad de voltaje: 48V20AH 	S/. 23,748.58

- Duración de la batería: 6-8 horas
- Distancia de control remoto: 100 m
- Velocidad del cepillo rodante: 300r/min
- Potencia del motor del cepillo rodante: 400W
- Potencia del motor de marcha: 200W * 2
- Adecuado para ángulo de inclinación fotovoltaica: $\leq 45^\circ$
- Obstáculo de cruce por desalineación plana: <50 mm
- Desalineación de placas izquierda y derecha: <10 mm
- Nivel de protección: IP65
- Temperatura de trabajo: -20~60° C



- Capacidad de dispersión 10 kg
- Autonomía 15 minutos
- Capacidad de pulverización 10 L
- Peso máximo de despegue 25 kg
- Peso de la batería 4kg
- Batería de 15,000 mAh

SkyDrones
Drone de
pulverización de
10 litros [17]



S/. 50,613.00

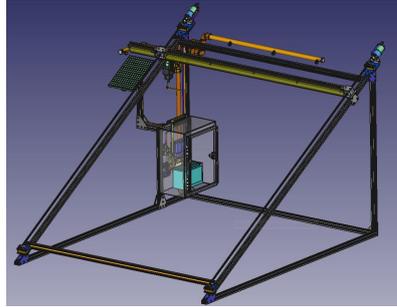
Máquina de
limpieza de
paneles térmicos

- Sistema de alimentación solar con panel de 300W, controlador de 12V 100A y batería de litio de 12V.
- Accionamiento programable
- Conectividad Wifi, con posibilidad de enlazar con Google Home o Alexa
- Autosustentable al 100% no está conectada a la red de energía eléctrica.
- Fácil remplazo de los jebes de limpieza en caso de desgaste.
- La máquina también realiza su autolimpieza del

S/. 6,400.00

panel solar, por lo que no requiere mantenimiento a este componente.

- Estructura de aluminio con perfiles V-Slot que permite un peso ligero y solidez estructural.
- Motoreductores de 12V, 8.8 kg.cm, 35rpm/min.



3.1.4. Materiales y métodos

3.1.4.1. Cálculo del tornillo de avance

Parte principal del mecanismo de potencia es el tornillo de avance, donde se desarrolla gran parte del esfuerzo mecánico; en tal sentido, se está considerando un tornillo con rosca tipo Acme que tiene las siguientes características, tal como se percibe en la Figura 21.

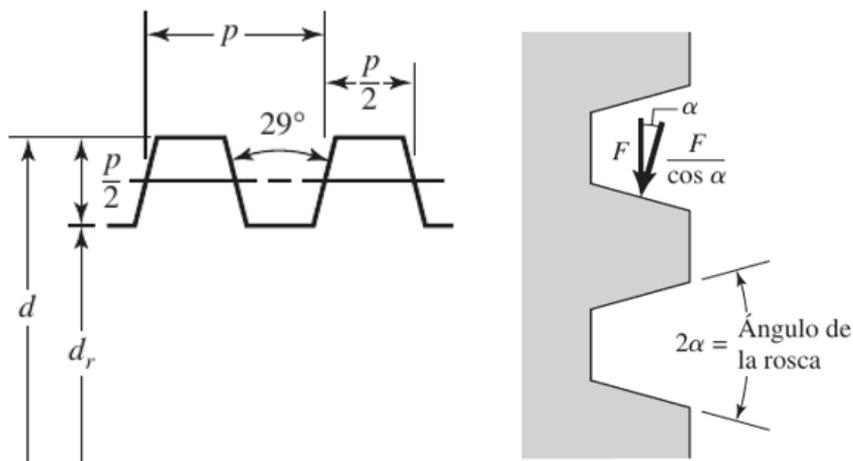


Figura 21. Características rosca Acme.

La barra roscada Acme es la TR8X2-4p y presenta las siguientes características tal como se percibe en la Figura 23.

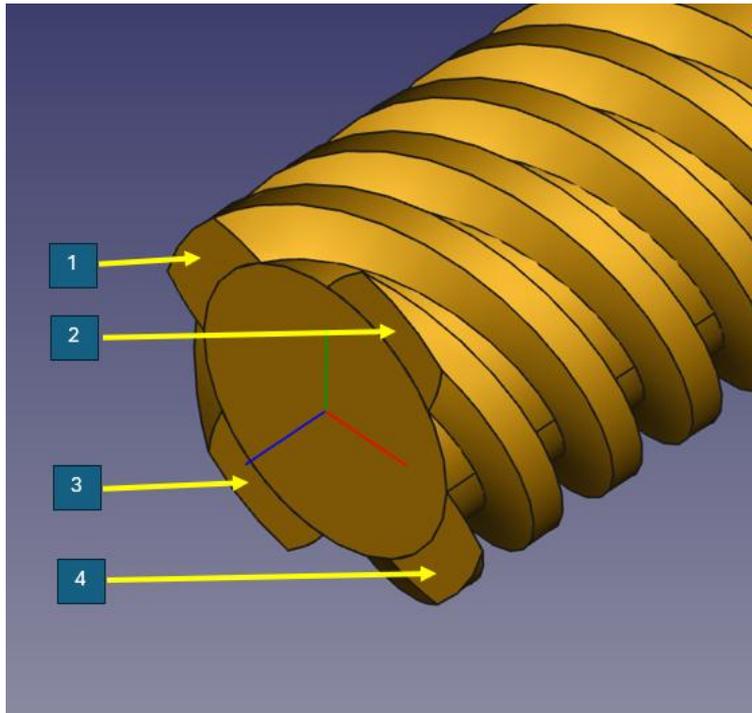


Figura 22. Rosca Acme con 4 entradas.

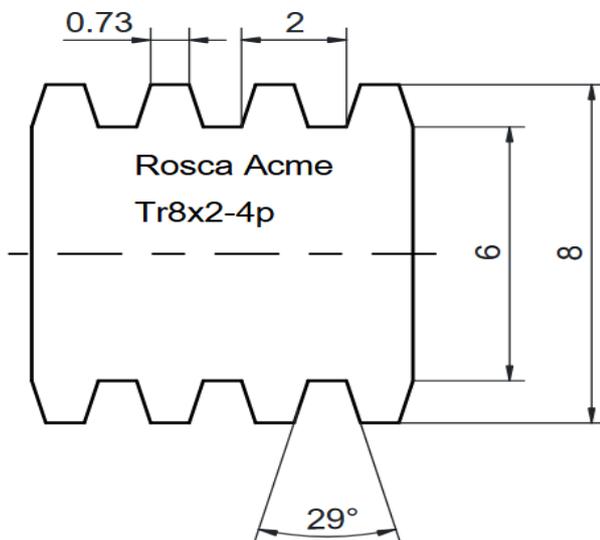


Figura 23. Características de la barra roscada Acme TR8X2-4p.

Para la designación 4p hace referencia a los pasos o arranques que tienen las roscas, siendo en este caso de 4 arranques o inicios como se aprecia en la Figura 22.

Para iniciar el cálculo, se está considerando el coeficiente de fricción (f) con un valor de 0.18, según cómo se muestra en la Tabla 9. [18]

Tabla 9. *Coeficientes de rozamiento por deslizamiento para diferentes materiales.* [18]

Superficies en contacto	Mk (f)
Acero sobre acero	0.18
Acero sobre hielo (patines)	0.02 - 0.03
Acero sobre hierro	0.19
Hielo sobre hielo	0.03
Patines de madera sobre hielo y nieve	0.04
Goma (neumático) sobre terreno firme	0.4 - 0.6
Correa de cuero (seca) sobre metal	0.56
Bronce sobre bronce	0.2
Bronce sobre acero	0.18
Roble sobre roble en la dirección de la fibra	0.48

Tomando los datos del tornillo para realizar el cálculo:

Leyenda:

f = Coeficiente de fricción

f_c = Coeficiente de fricción del collarín medio

p = Paso

d = Diámetro mayor

d_m = Diámetro medio

d_r = Diámetro menor

d_p = Diámetro de paso

d_c = Diámetro del collarín

n = Número de arranques o inicios de hilo

β = Ángulo de rosca entre extremos

α = Ángulo de rosca

F = Fuerza

m = Masa

T_R = Torque de subida

T_C = Torque del collarín

e = Eficiencia

Datos:

$$\begin{aligned} f &= 0.23 \\ p &= 2\text{mm} \\ d &= 8\text{mm} \\ n &= 4 \\ \beta &= 2 \cdot \alpha = 29^\circ \end{aligned}$$

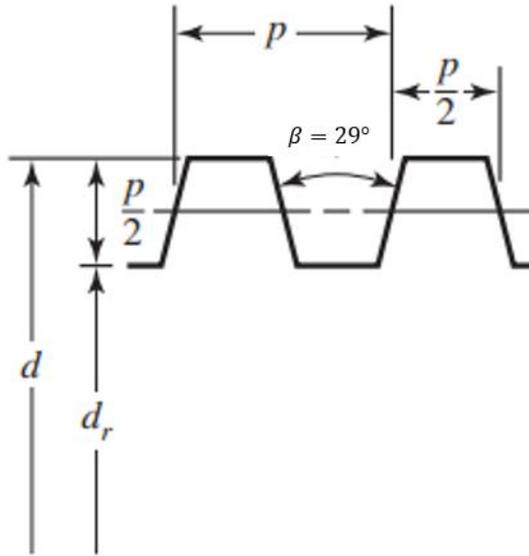


Figura 24. Características rosca Acme.

$$d_r = d - \frac{p}{2} = 8\text{mm} - \frac{2\text{mm}}{2} = 7\text{mm} \quad (9)$$

$$d_r = d - p = 8\text{mm} - 2\text{mm} = 6\text{mm} \quad (10)$$

$$l = p \cdot n = 2\text{mm} \cdot 4 = 8\text{mm} \quad (11)$$

Para determinar el ángulo α en el cual recae la fuerza, se considera la posición de trabajo del tornillo Acme en relación con el ángulo de trabajo de la máquina. Es indispensable considerar este ángulo, ya que afecta al torque de subida T_R .

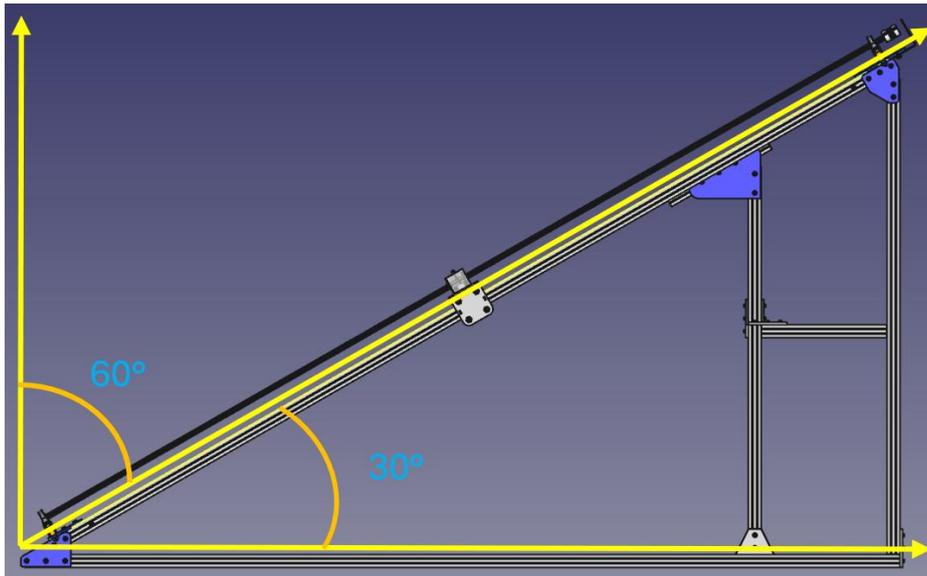


Figura 25. Posición de trabajo de la máquina.

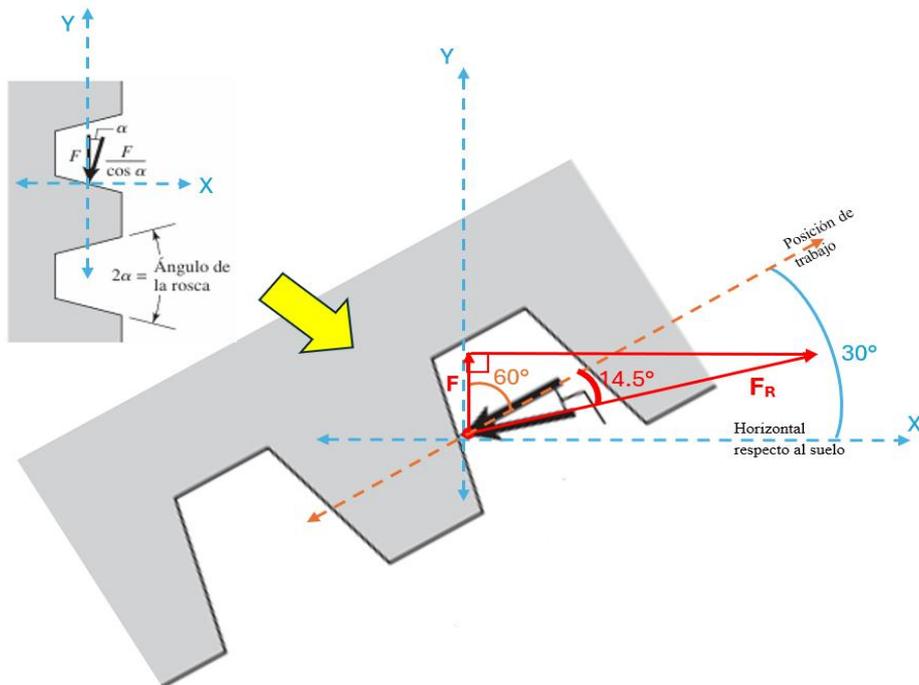


Figura 26. Ángulo α de la rosca del tornillo Acme con respecto a la posición de trabajo.

Para determinar el ángulo α donde se aplica la fuerza F para el flanco en la rosca, se tiene que considerar que la posición de la máquina con respecto al eje Y tiene una inclinación de 60° , donde restamos la mitad de β , tal como se percibe en la Figura 26.

$$\alpha = \left(\frac{\beta}{2}\right) + 60^\circ \quad (12)$$

$$\alpha = \left(\frac{29^\circ}{2}\right) + 60^\circ$$

$$\alpha = 74.5^\circ$$

El puente de aluminio que sostiene el limpiador Figura 27, se desplaza con 30° de inclinación en relación con el eje X o 60° respecto al eje Y, tiene una masa de 1.75 kg de acuerdo con el Software de diseño 3D FreeCAD tal como se percibe en la Figura 29.

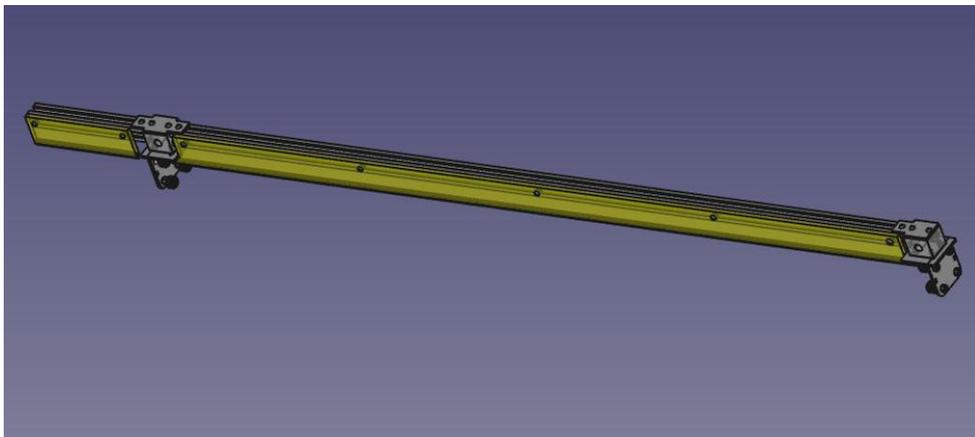


Figura 27. Puente de limpieza.

La masa determinada por el software CAD se divide entre 2 porque la máquina cuenta con 2 motores para elevar la carga, donde el torque será proporcionalmente compartido. La fuerza aplicada resultante servirá para calcular el par de torsión para superar la fricción y subir el puente, aplicando la fórmula 13 considerando el ángulo de inclinación en el que trabaja la máquina.

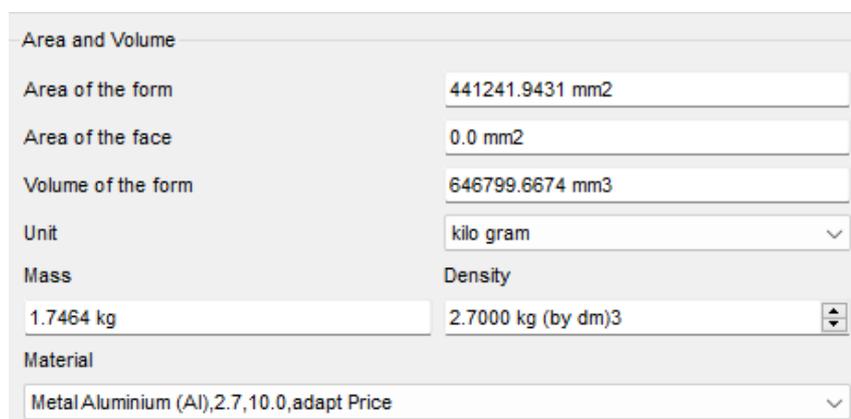


Figura 28. Masa calculada con el software de diseño 3D FreeCAD.

$$m = 1.75kg$$

$$g = 9.8066 \frac{m}{s^2}$$

$$F_N = \left(\frac{m}{2}\right) \cdot g \quad (13)$$

$$F_N = \left(\frac{1.75kg}{2}\right) \cdot 9.8066 \frac{m}{s^2}$$

$$F_N = 8.58N$$

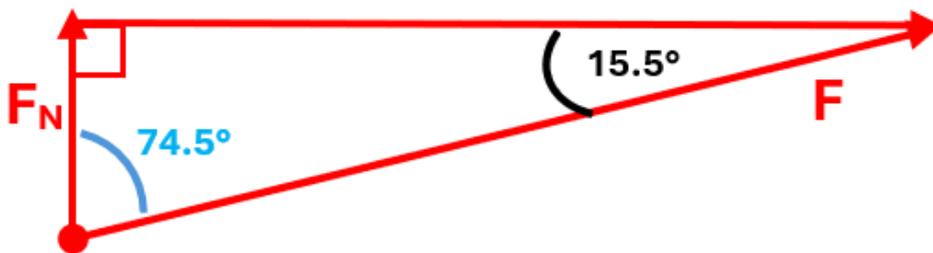


Figura 29. Desplazamiento de la fuerza F con respecto a la fuerza normal que actúa en el eje Y .

Para calcular la fuerza F que actúa sobre el tornillo, se debe considerar el ángulo α y adicionar el desplazamiento de 60° .

$$F = \frac{F_N}{\cos(\alpha)} \quad (14)$$

$$F = \frac{8.58N}{\cos(74.5^\circ)}$$

$$F = 32.11N$$

Otra forma de calcular la fuerza sería según funciones trigonométricas, y obtendremos los mismos resultados.

$$F = \frac{F_N}{\cos(\alpha)} \quad (15)$$

$$F = \frac{8.58N}{\sen(15.5^\circ)}$$

$$F = 32.11N$$

Para calcular el torque que se requiere para elevar la carga, debe cumplir con 2 requisitos: debe superar la fricción y elevar la carga.

$$T_R = \frac{F \cdot d_m}{2} \cdot \left(\frac{l + \frac{f \cdot \pi \cdot d_m}{\cos(\alpha)}}{\pi \cdot d_m - \frac{f \cdot l}{\cos(\alpha)}} \right) \quad (16)$$

$$T_R = \frac{(32.11N) \cdot (0.7cm)}{2} \cdot \left(\frac{(0.8cm) + \frac{(0.23) \cdot \pi \cdot (0.7cm)}{\cos(74.5^\circ)}}{\pi \cdot (0.7cm) - \frac{(0.23) \cdot (0.8cm)}{\cos(74.5^\circ)}} \right)$$

$$T_R = 20.03N \cdot cm$$

Se calcula el torque del collarín:

$$f_c = 0.15$$

$$d_c = 22mm$$

$$T_C = \frac{F \cdot f_c \cdot d_c}{2} \quad (17)$$

$$T_C = \frac{(32.11N) \cdot (0.15) \cdot (2.2cm)}{2}$$

$$T_C = 5.3N \cdot cm$$

Se suma el torque de subida TR y el torque del collarín TC para obtener el torque total requerido para mover el tornillo.

$$T_T = T_R + T_C \quad (18)$$

$$T_T = (20.03N \cdot cm) + (5.3N \cdot cm)$$

$$T_T = 25.33N \cdot cm$$

Aplicando un factor de seguridad de 3 para poder realizar la selección del motor se obtiene:

$$T_M = T_T \cdot 3 \quad (19)$$

$$T_M = (25.33N \cdot cm) \cdot 3$$

$$T_M = T_T \cdot 3 \quad (19)$$

$$T_M = 75.99N \cdot cm$$

$$T_M = 7.75kgf \cdot cm$$

De acuerdo con las especificaciones de los motorreductores, el fabricante proporciona diferentes configuraciones de relación de reducción, tal como se percibe en la Figura 30. Se ha seleccionado el motorreductor con carga nominal (rated load) de 8.8 kgf.cm por ser el valor cercano superior.

Rated voltage	Reduction ratio	No load		Rated			Stall and Turn		Gearbox length	Weight
		Rotation speed	Current	Rated load	Load speed	Current	Stall torque	Current		
v		r/min	a	kg cm	r/min	a	kg cm	a	mm	g
12V	6.25	960	0.05	0.3	738	0.45	1.4	2.3	19	175
	10	600	0.05	0.5	462	0.45	2.3	2.3		175
	18.75	320	0.05	1	246	0.45	4.3	2.3	22	180
	30	200	0.05	1.6	154	0.45	6.9	2.3		180
	56.25	107	0.05	2.9	82	0.45	12.9	2.3	24	185
	90	66	0.05	4.7	51	0.45	20.7	2.3		185
	131.25	45	0.05	6.8	35	0.45	30.2	2.3	26.5	190
	168.75	35	0.05	8.8	27	0.45	38.8	2.3		190
	270	22	0.05	14	17	0.45	Prohibition of blocking rotation		29	190
	506.25	12	0.05	26	9	0.45				200

Figura 30. Características técnicas del motorreductor seleccionado de los datos del fabricante.

Cálculo de la velocidad angular

$$r = \left(27 \frac{rev}{min}\right) \cdot \left(\frac{min}{60seg}\right) = 0.45 \frac{rev}{seg}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot r \quad (201)$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \left(0.45 \frac{rev}{seg}\right)$$

$$\omega = 2.83radseg$$

Se calcula la velocidad lineal o velocidad de avance

$$v = \omega \cdot l \quad (21)$$

$$v = \left(2.83 \frac{rad}{seg}\right) \cdot (8mm)$$

$$v = 22.62mmseg$$

La potencia

$$P = T_T \cdot \omega \quad (22)$$

$$P = (0.25N \cdot m) \cdot \left(2.83 \frac{rad}{seg}\right)$$

$$P = 0.72W$$

Se calcula si existe autobloqueo para el tornillo de potencia Acme comparando su coeficiente de fricción, siendo mayor o igual que el ángulo de avance del tornillo para determinar si cumple tal condición de autobloqueo.

$$f = 0.23$$

$$f \geq \frac{l}{\pi \cdot d_m} \quad (23)$$

$$f \geq \frac{8mm}{\pi \cdot (7mm)}$$

$$0.23 \geq 0.10$$

Con el resultado obtenido, se determina que el tornillo de potencia se autobloquea. Esto define que cuando la máquina está en reposo, el tornillo no se gire.

Se realiza el cálculo de la eficiencia aplicando la fórmula 24.

$$e = \frac{F \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot T_R} \quad (24)$$

$$e = \frac{(32.11N) \cdot (0.8cm)}{2 \cdot \pi \cdot (20.03N \cdot cm)}$$

$$e = 0.20$$

El tornillo tiene un 20 % de eficiencia.

El esfuerzo cortante correspondiente al momento donde la torsión de subida en parte externa del cuerpo del tornillo es:

$$\tau_{xy} = 0 \quad (25)$$

$$\tau_{yz} = \frac{16 \cdot T_R}{\pi \cdot d_m^3} \quad (26)$$

$$\tau_{yz} = \frac{16 \cdot (0.2003N \cdot m)}{\pi \cdot (0.007m)^3}$$

$$\tau_{yz} = 2.97MPa$$

El esfuerzo axial normal nominal es:

$$\tau_{zx} = 0 \quad (27)$$

$$\sigma_z = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_r^2} \quad (28)$$

$$\sigma_z = \frac{4 \cdot (32.11N)}{\pi \cdot (0.006m)^2}$$

$$\sigma_z = 1.14MPa$$

El esfuerzo flexionante:

$$\sigma_y = 0$$

$$\sigma_x = \frac{6 \cdot 0.38 \cdot F}{\pi \cdot d_r \cdot 1 \cdot p} \quad (29)$$

$$\sigma_x = \frac{6 \cdot 0.38 \cdot (32.11N)}{\pi \cdot (0.006m) \cdot 1 \cdot (0.002m)}$$

$$\sigma_x = 1.94MPa$$

Esfuerzo Von Mises

$$\sigma = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \cdot \left((\sigma_x - 0)^2 + (0 - (\sigma_z)^2) + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{yz})^2\right)^{\frac{1}{2}} \quad (30)$$

$$\sigma = \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \cdot \left((1.94 - 0)^2 + (0 - (1.14)^2) + (1.14 - 1.94)^2 + 6 \cdot (2.97)^2\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\sigma = 5.42MPa$$

Esfuerzos principales:

$$\frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{yz}^2} \quad (31)$$

$$\frac{1.14MPa}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1.14MPa}{2}\right)^2 + (2.97MPa)^2}$$

$$\sigma_2 = 3.6MPa$$

$$\sigma_3 = -2.46MPa$$

Esfuerzo cortante máximo:

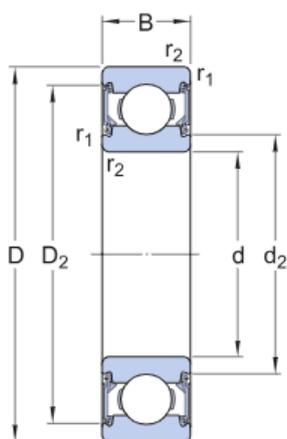
$$\sigma_1 = \sigma_x = 1.94MPa$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \quad (32)$$

$$\tau_{max} = \frac{(1.94MPa) - (-2.46MPa)}{2}$$

$$\tau_{max} = 2.2MPa$$

Cálculo del rodamiento para la selección del rodamiento, se basó en las medidas del diámetro del tornillo Acme y el alojamiento de las chumaceras, encontrando en SKF 608-2RSH con las siguientes características mostradas en la Figura 31.



Dimensiones

d	8 mm	Diámetro del agujero
D	22 mm	Diámetro exterior
B	7 mm	Ancho
d ₂	≈ 10.55 mm	Diámetro del rebaje
d ₂	≈ 0 mm	Diámetro del rebaje
D ₂	≈ 19.2 mm	Diámetro del rebaje
r _{1,2}	min. 0.3 mm	Dimensión del chaflán

Figura 31. Características del rodamiento SKF 608-2RSH.

Se considera la masa del puente como aluminio según la Figura 28 y sumamos la masa del tornillo Acme de la Figura 32 multiplicada por 2, ya que son dos tornillos de potencia, y obtenemos lo siguiente:



Figura 32. Masa del tornillo Acme calculada por el software FreeCAD.

$m_1 = \text{masa del puente}$

$m_2 = \text{masa del tornillo Acme}$

$m_T = \text{masa total}$

Datos:

$$m_1 = 1.75kg$$

$$m_2 = 0.47kg$$

$$m_T = m_1 + m_2$$

$$m_T = 1.75kg + (0.47kg \cdot 2)$$

$$m_T = 2.68kg$$

Para calcular las cargas axiales, se realiza un diagrama de cuerpo libre, para determinar las componentes F_x y F_y

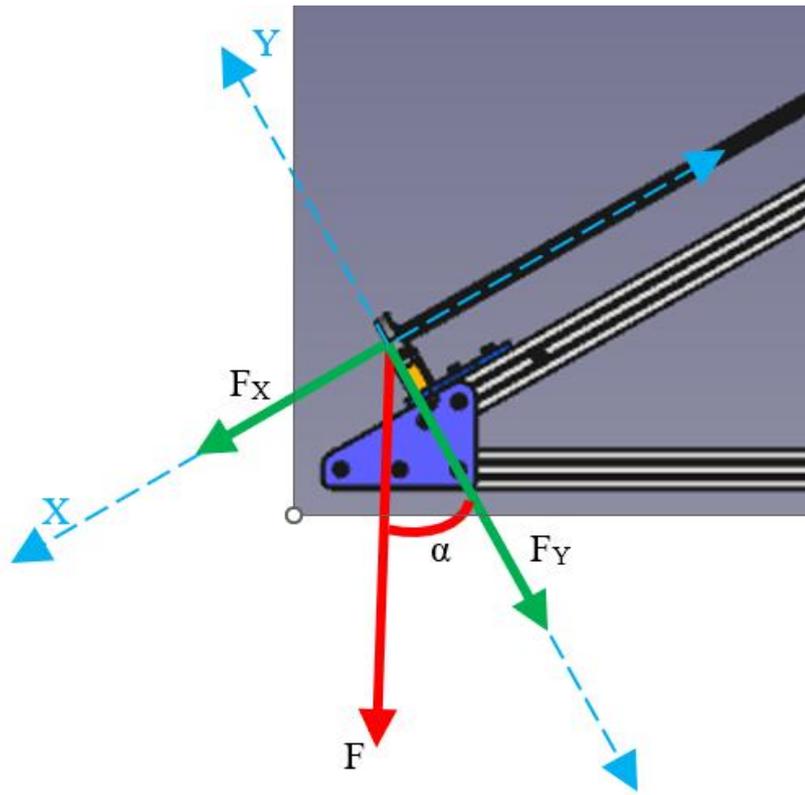


Figura 33. Diagrama de cuerpo libre para determinar las cargas radiales y axiales del rodamiento.

Para calcular la fuerza F aplicamos la fórmula 34:

$$\begin{aligned}
 F &= m_T \cdot g & (33) \\
 F &= (2.68kg) \cdot \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) \\
 F &= 26.31N \\
 F &= 0.026kN
 \end{aligned}$$

Determinamos la carga axial Fx con la fórmula 35:

$$\begin{aligned}
 F_X &= F \cdot \text{sen}(\alpha) & (34) \\
 F_X &= (0.026kN) \cdot \text{sen}(30^\circ) \\
 F_X &= 0.013kN
 \end{aligned}$$

Determinamos la carga axial Fy con la fórmula 36:

$$\begin{aligned}
 F_Y &= F \cdot \text{cos}(\alpha) & (353) \\
 F_Y &= (0.026kN) \cdot \text{cos}(30^\circ) \\
 F_Y &= 0.023kN
 \end{aligned}$$

Ahora se determina la carga límite de fatiga P_U con la sumatoria de las fuerzas axial y radial:

$$\begin{aligned}
 P_U &= F_X + F_Y & (36) \\
 P_U &= (0.013kN) + (0.026kN) \\
 P_U &= 0.036kN
 \end{aligned}$$

De acuerdo con el rodamiento seleccionado SKF 608-2RSH [19], y los datos de cálculo que proporciona el fabricante tal como se percibe en la Figura 34, se puede determinar que la carga límite de fatiga $P_U = 0.036kN$ se encuentra por debajo del límite del fabricante, siendo este de $P_U = 0.057kN$

Datos del cálculo

Clase de rendimiento SKF		SKF Explorer
Capacidad de carga dinámica básica	C	3.45 kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	1.37 kN
Carga límite de fatiga	P_U	0.057 kN
Velocidad límite		22 000 r/min
Factor de carga mínima	k_r	0.025
Factor de cálculo	f_0	12

Figura 34. Datos de cálculo del rodamiento SKF 608-2RSH proporcionado por el fabricante.

Cálculo de la vida útil nominal con 90 % de confiabilidad, donde $N = 3$ por ser un rodamiento de bolas según norma ISO 281, y $C = 3.45kN$ según especificaciones de SKF mostradas en la Figura 34.

$$\begin{aligned}
 L_{10} &= \left(\frac{C}{P_U}\right)^N & (37) \\
 L_{10} &= \left(\frac{3.45kN}{0.036kN}\right)^3
 \end{aligned}$$

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P_U}\right)^N \quad (37)$$

$$L_{10} = 0.88 \cdot 10^6$$

Para el cálculo de la vida útil en horas y días hay que determinar el tiempo de trabajo de la máquina diariamente:

$S = 1480mm$ La carrera que debe recorrer el tornillo

$V = 22.62 \frac{mm}{seg} = 1357.17 \frac{mm}{min}$ Velocidad de avance

$r = 27 \frac{rev}{min}$ Velocidad de giro del motor

$R = 10$ Las repeticiones están consideradas como las veces que baja y suma el mecanismo.

Se calcula el tiempo de trabajo.

$$T = \frac{S}{V} \quad (38)$$

$$T = \frac{1480mm}{1357.17mmmin}$$

$$T = 1.09min$$

Se calcula el tiempo total de trabajo diario

$$T_T = T \cdot R \quad (39)$$

$$T_T = (1.09min) \cdot (10)$$

$$T_T = 10.91min$$

Conversión

$$\frac{rev}{dia} = \left(\frac{27rev}{1min}\right) \cdot \left(\frac{10.91min}{dia}\right) = 294.57 \frac{rev}{dia} \quad (40)$$

Cálculo de vida útil en días

$$L_{10h} = \frac{L_{10}}{294.57 \frac{rev}{dia}} \quad (41)$$

$$L_{10h} = \frac{0.88 \cdot 10^6}{294.57 \frac{rev}{dia}}$$

$$L_{10h} = 2987.41dia$$

3.1.4.2. Criterios de selección de los componentes eléctricos

Para la selección de los componentes eléctricos (Tabla 10) que se usarán como parte del sistema de control, se consideró que la tensión de trabajo es de 12v por el uso de una batería de litio que trabaja con esta tensión y no tener que utilizar inversores de corriente que elevarían el costo. Esta tensión es más que suficiente para la activación de la electroválvula y el motorreductor. Para programar la frecuencia de activación se consideró un interruptor inteligente con conectividad Wifi, donde se conecta con el celular y se programan los periodos de activación de limpieza. Esta comunicación con el celular también puede darse a través de Google Home o Alexa.

Tabla 10. Características de los componentes eléctricos seleccionados.

Cant.	Componente	Descripción	Funciones
1	Kit Panel Solar 300 W + Controlador 12 V 100 A [20]	 1PCS 300W	Convierte la energía lumínica en energía eléctrica y recarga la batería por medio del controlador
1	Batería 12 V [21]		Almacena la energía eléctrica
1	Electroválvula 12 V [22]		Activa el paso de agua al sistema para la limpieza por medio de la activación electromagnética
1	Interruptor inteligente Wifi [23]		Control y activación del sistema mediante programación del temporizador, control de voz Google Home y Alexa, conexión Wifi.

2 Limit Switch / final de carrera [24]



Limita el recorrido de del puente de limpieza

2 Motorreductor eléctrico 12 VDC [25]



Provee el movimiento rotacional al tornillo Acme

2 Interruptor relé DPDT [26]



Permite armar el circuito de control para que genere un cambio del sentido de avance cuando los limit switch envíen la señal.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Presentación de resultados

4.1.1. Diseño de mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana en termas solares

De acuerdo con el objetivo planteado en la presente investigación, se realizó el diseño de un mecanismo de limpieza de colectores de termas solares con cubierta plana, que funciona de manera autosustentable sin depender de la energía de la red eléctrica, y realiza la limpieza de manera automatizada de acuerdo con los periodos programados.

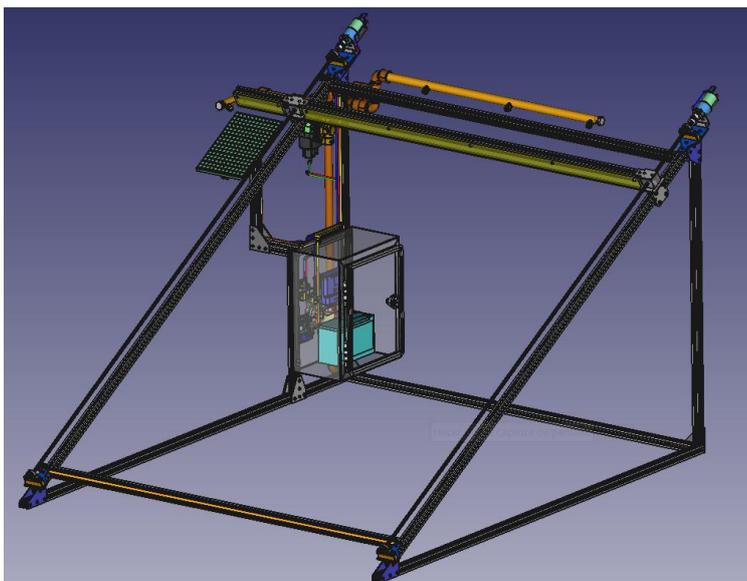


Figura 35. *Diseño de mecanismo de limpieza de colectores con cubierta plana para termas solares.*

Para el diseño de la máquina se realizó una selección de materiales que se encuentran en el medio local y otros de importación, obteniendo la siguiente lista con precios en moneda nacional, como se observa en la Tabla 11:

Tabla 11. *Lista total de materiales requeridos para el diseño de la máquina.*

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Perfil V-Slot 2020 – 1510 mm	2	S/. 453.00	S/. 906.00
Perfil V-Slot 2020 – 1362 mm	2	S/. 408.60	S/. 817.20
Perfil V-Slot 2020 – 1100 mm	3	S/. 330.00	S/. 990.00
Perfil V-Slot 2020 – 745 mm	2	S/. 223.50	S/. 447.00
Perfil V-Slot 2020 – 360 mm	1	S/. 108.00	S/. 108.00
Perfil V-Slot 2020 – 268 mm	1	S/. 80.40	S/. 80.40
Perfil V-Slot 2020 – 195 mm	1	S/. 58.50	S/. 58.50
Perfil V-Slot 2020 – 180 mm	1	S/. 54.00	S/. 54.00
Perfil V-Slot 2020 – 95 mm	1	S/. 28.50	S/. 28.50
Perfil V-Slot 2020 – 1084 mm	1	S/. 325.20	S/. 325.20
Soporte en T largo	2	S/. 30.00	S/. 60.00
Soporte en T corto	2	S/. 20.00	S/. 40.00
Tuerca M5 tipo T para ranura V-Slot	102	S/. 1.20	S/. 122.40
Tornillo M5 x 8 mm	102	S/. 0.60	S/. 61.20
Tornillo M4 x 20 mm	4	S/. 1.00	S/. 40.00
Tornillo M4 x 12 mm	14	S/. 0.80	S/. 11.20
Tornillo M4 x 10 mm	4	S/. 0.70	S/. 2.80
Tuerca M4 x18mm	4	S/. 0.90	S/. 3.60
Tornillo M5 x 30 mm	4	S/. 1.50	S/. 6.00
Tuerca M5	4	S/. 0.50	S/. 2.00
Placa V-Slot en L 30° x 5 orificios	4	S/. 20.00	S/. 80.00
Placa V-Slot en L 60° x 5 orificios	6	S/. 20.00	S/. 120.00
Placa V-Slot en L 90° x 5 orificios	5	S/. 15.00	S/. 75.00
Placa V-Slot en T 90° x 5 orificios	2	S/. 15.00	S/. 30.00
Chumacera con rodamiento KP08	4	S/. 10.00	S/. 40.00
Cuadrante para tuerca Acme	2	S/. 30.00	S/. 60.00
Tuerca Acme TR8x2-4p antibacklash	2	S/. 15.00	S/. 30.00
Tornillo Acme TR8x2-4p x 1520mm	2	S/. 107.00	S/. 214.00
Copla flexible 6.35 mm x 8 mm	2	S/. 8.00	S/. 16.00
Guiador	2	S/. 70.00	S/. 140.00
Soporte de limpieza x 1068 mm	1	S/. 50.00	S/. 50.00
Soporte de limpieza x 150 mm	1	S/. 20.00	S/. 20.00

Jebe de limpieza x 1068 mm	1	S/. 15.00	S/. 15.00
Jebe de limpieza x 150 mm	1	S/. 15.00	S/. 15.00
Soporte del puente tipo T	1	S/. 10.00	S/. 10.00
Soporte del puente tipo L	1	S/. 8.00	S/. 8.00
Soporte de motorreductor 31 mm	2	S/. 15.00	S/. 30.00
Suple de chumacera KP08 x 15 mm	4	S/. 10.00	S/. 40.00
Tapón NTP 1/2"	2	S/. 2.10	S/. 4.20
Boquilla de pulverización de 1/2"	4	S/. 10.00	S/. 40.00
Tubería de agua PVC 1/2"	1	S/. 10.00	S/. 10.00
Válvula de apertura manual 1/2" NTP	1	S/. 26.90	S/. 26.90
Unión L 90° 1/2"	8	S/. 3.60	S/. 28.80
Unión T 1/2"	1	S/. 3.90	S/. 3.90
Motorreductor	2	S/. 179.00	S/. 358.00
Electroválvula 12V	1	S/. 105.00	S/. 105.00
Kit de panel solar	1	S/. 112.00	S/. 112.00
Batería de litio 12V	1	S/. 163.00	S/. 163.00
Gabinete de control	1	S/. 190.00	S/. 190.00
interruptor final de carrera	2	S/. 50.00	S/. 100.00
Relé DPDT	2	S/. 9.00	S/. 18.00
Interruptor inteligente Wifi	1	S/. 52.00	S/. 52.00
Terminales de corriente	34	S/. 0.80	S/. 27.20
Bornera de batería	2	S/. 20.00	S/. 40.00
		TOTAL S/. 6,400.00	

4.1.2. Diseño de la estructura

Para el diseño estructural de la máquina se está considerando el ambiente donde va a funcionar, que sería normalmente donde están las termas solares, siendo los exteriores de una casa o empresa en la parte alta de los techos o terrazas. Con esta premisa se ha determinado la utilización del aluminio como material estructural.

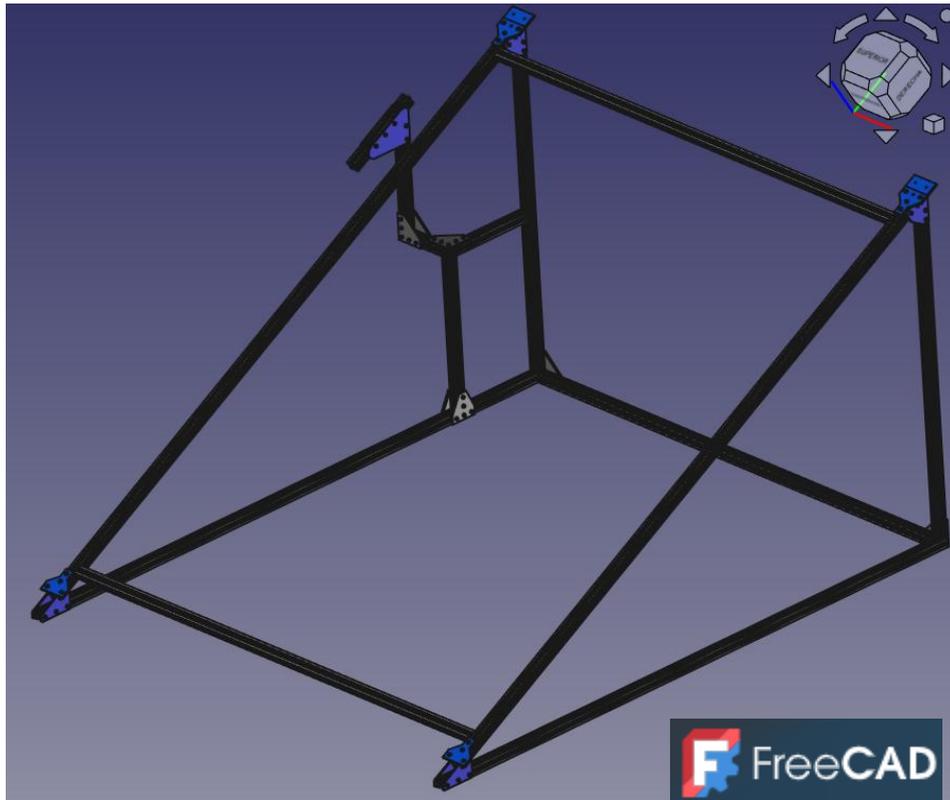


Figura 36. *Diseño estructural de la máquina de limpieza con perfiles de aluminio V-Slot 2020.*

En el mercado se encuentra una variedad de perfiles de aluminio V-Slot que son muy utilizados para la fabricación de máquinas CNC como router CNC de distintos tamaños. Para el diseño de esta máquina he seleccionado el perfil V-Slot 2020 que sería lo suficientemente resistente para soportar el peso de los diferentes sistemas que se le adicione.

El perfil V-Slot es un Open Hardware diseñado por Mark Carew de OpenBuilds. Este tipo de perfil es muy modular, permitiendo realizar distintos tipos de configuraciones para el diseño y/o armado de máquinas. A continuación, se detallan las especificaciones del perfil V-Slot 2020:

Tabla 13. *Propiedades físicas del material.*

Descripción	Característica
Nombre	Aluminio 6063
Densidad de masa	2.7 g/cm ³
Límite de elasticidad	275 MPa
Resistencia máxima a tracción	310 MPa
Módulo de young	68.9 GPa
Coefficiente de poisson	0.33
Módulo cortante	25.9023 GPa
Masa	11.7738 kg
Área	2390730 mm ²
Volumen	2839390 mm ³
Centro de gravedad	x=-621.163 mm y=701.373 mm z=-74.8901 mm

Tabla 14. *Configuración de la malla.*

Descripción	Característica
Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60°
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Tabla 15. *Datos de la fuerza aplicada a la simulación.*

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	70.776 N
Vector X	-0.000 N
Vector Y	-30.000 N
Vector Z	-64.103 N

La tensión Von Mises obtenida está por debajo del límite de elasticidad del aluminio, dando un coeficiente de seguridad alto. La estructura por sí sola no soporta un peso significativo para la estructura; válida el diseño con una estructura segura.

Tabla 16. *Resumen de resultados.*

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	3028360 mm ³	
Masa	8.18333 kg	
Tensión de Von Mises	0.00000169083 MPa	30.4187 MPa
Primera tensión principal	-5.69485 MPa	27.0762 MPa
Tercera tensión principal	-28.9015 MPa	4.23293 MPa
Desplazamiento	0 mm	0.38 mm
Coefficiente de seguridad	9.0405 su	15 su
Tensión XX	-15.7483 MPa	16.7227 MPa
Tensión XY	-14.1579 MPa	13.7875 MPa
Tensión XZ	-14.5872 MPa	14.2101 MPa
Tensión YY	-19.2914 MPa	26.9853 MPa
Tensión YZ	-11.8123 MPa	11.7599 MPa
Tensión ZZ	-27.5867 MPa	18.7317 MPa
Desplazamiento X	-0.431393 mm	0.843794 mm
Desplazamiento Y	-0.223466 mm	0.101483 mm
Desplazamiento Z	-8.35459 mm	0.202509 mm
Deformación equivalente	0.000000000292411 su	0.000391467 su
Primera deformación principal	-0.0000009011 su	0.000357498 su
Tercera deformación principal	-0.000419008 su	0.00000359153 su
Deformación XX	-0.000197803 su	0.000199312 su
Deformación XY	-0.000273295 su	0.000266144 su
Deformación XZ	-0.000281582 su	0.000274302 su
Deformación YY	-0.000256184 su	0.000355745 su
Deformación YZ	-0.000228016 su	0.000227004 su
Deformación ZZ	-0.000379186 su	0.000254363 su
Presión de contacto	0 MPa	96.504 MPa
Presión de contacto X	-74.6836 MPa	77.4156 MPa
Presión de contacto Y	-58.7026 MPa	38.2502 MPa
Presión de contacto Z	-55.726 MPa	56.2631 MPa

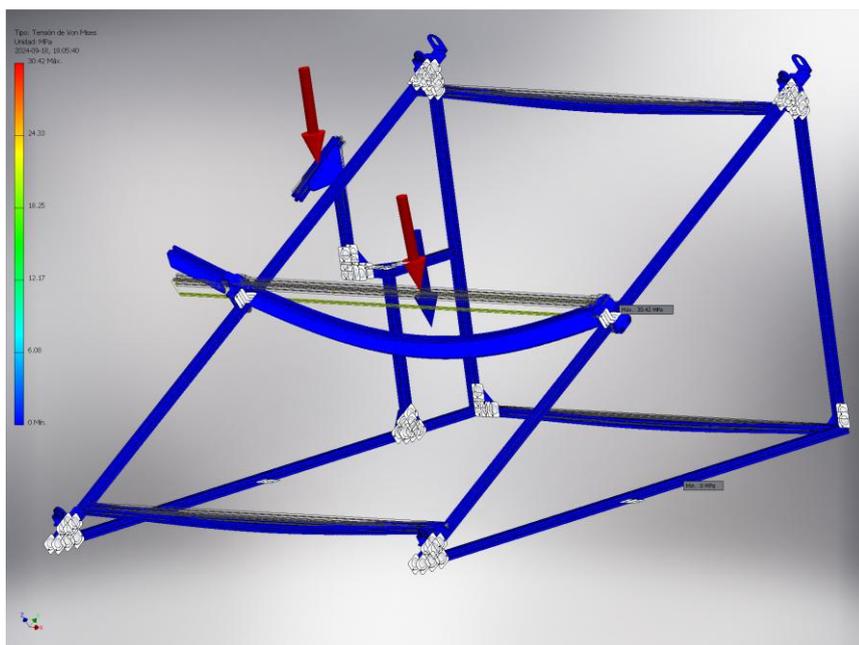


Figura 38. *Tensión de Von Mises.*

El desplazamiento máximo en el punto de carga es de 0.38 mm estando dentro de los límites elásticos del material.

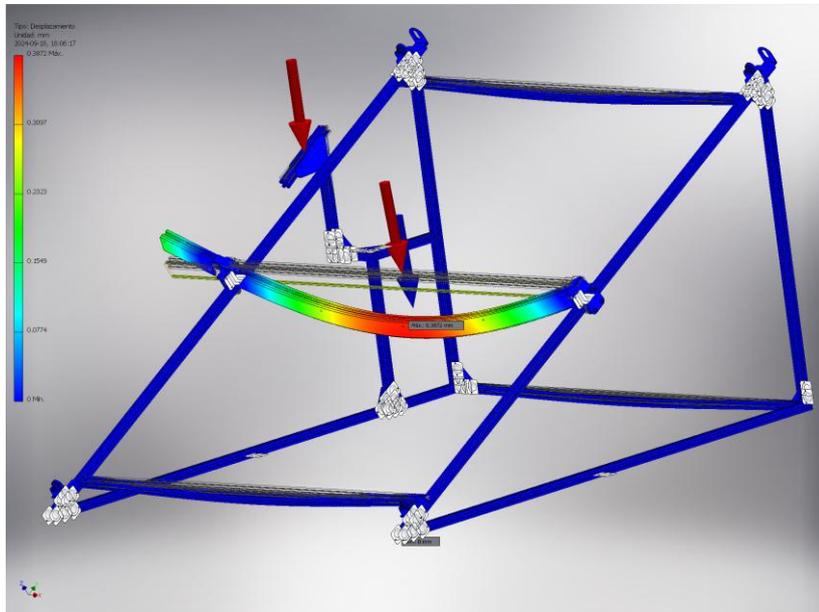


Figura 39. Desplazamiento.

El coeficiente de seguridad es alto, obteniendo un mínimo de 9 y un máximo de 15, demostrando que el diseño estructural puede soportar cargas mayores.

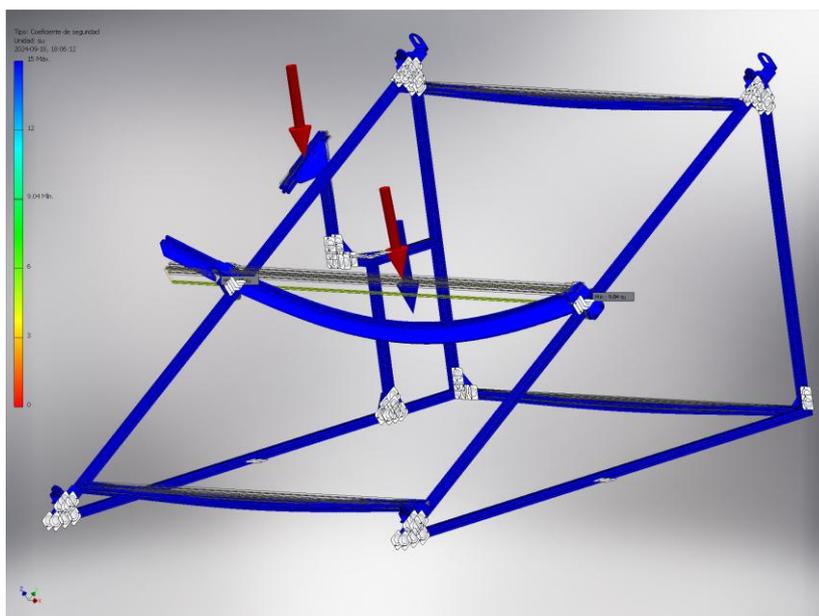


Figura 40. Coeficiente de seguridad.

4.1.3. Diseño del mecanismo de limpieza tipo puente

El mecanismo de limpieza fue diseñado de manera muy similar a los routers CNC. Se utilizó un soporte tipo puente que se desplaza en el eje x con una inclinación de 30° , y este a su vez tiene sujetado un soporte con el jébe de limpieza que tendrá contacto con el vidrio del colector de la terma solar.

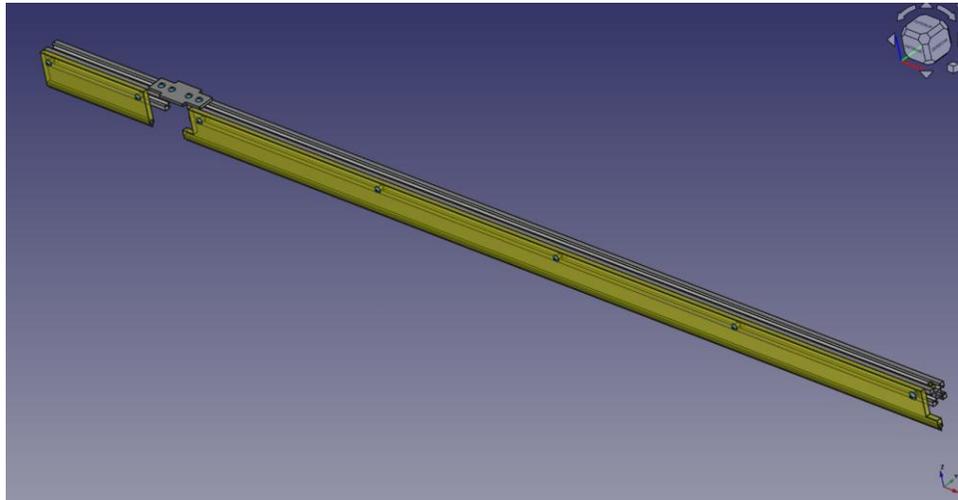


Figura 41. *Sistema de limpieza tipo puente.*

4.1.4. Diseño del sistema de transmisión

Para poder realizar la limpieza del colector, se diseñó un sistema de desplazamiento accionado por tornillo de potencia. El tipo de tornillo utilizado es un Acme TR8X2-4p; con el giro del tornillo de potencia se genera un avance de 8 mm por cada 360° de giro. El tornillo cuenta con 4 entradas donde el paso entre cada entrada es de 2 mm, tal como se percibe en la Figura 42.

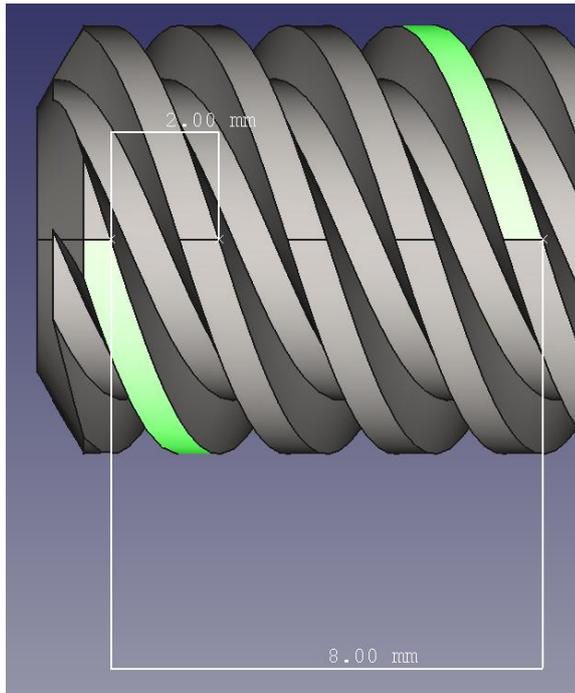


Figura 42. Características del tornillo de potencia Acme TR8X2-4p.

La transmisión de fuerzas en el mecanismo va desde el eje del motorreductor hacia la copla flexible y al tornillo de potencia; luego se transmite a la tuerca, donde se realiza el cambio de movimiento rotacional a un movimiento lineal para luego desplazar el soporte de rodillos guía donde se apoya el puente con el jebe de limpieza.

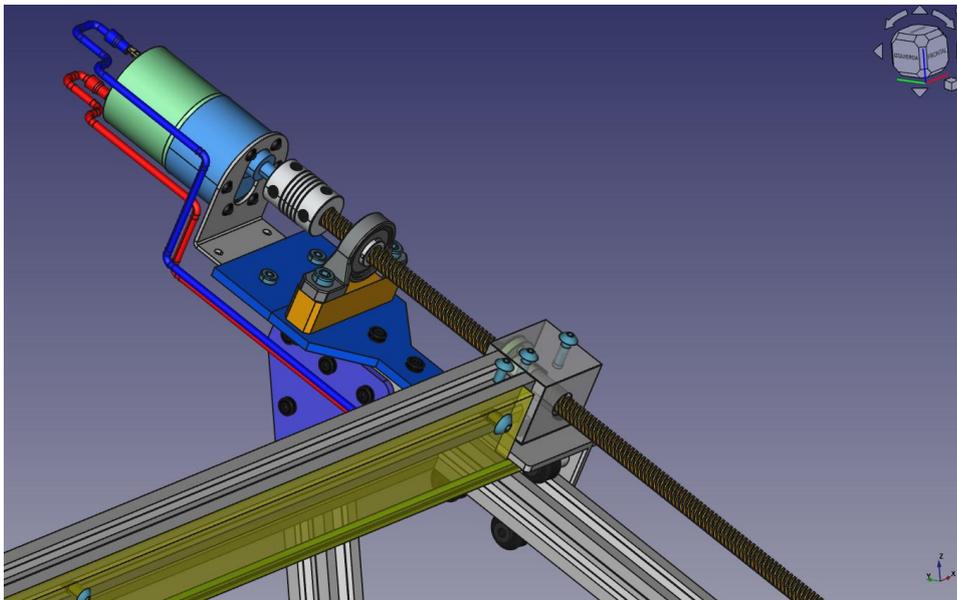


Figura 43. Mecanismo de avance con tornillo de potencia Acme TR8X2-4p.

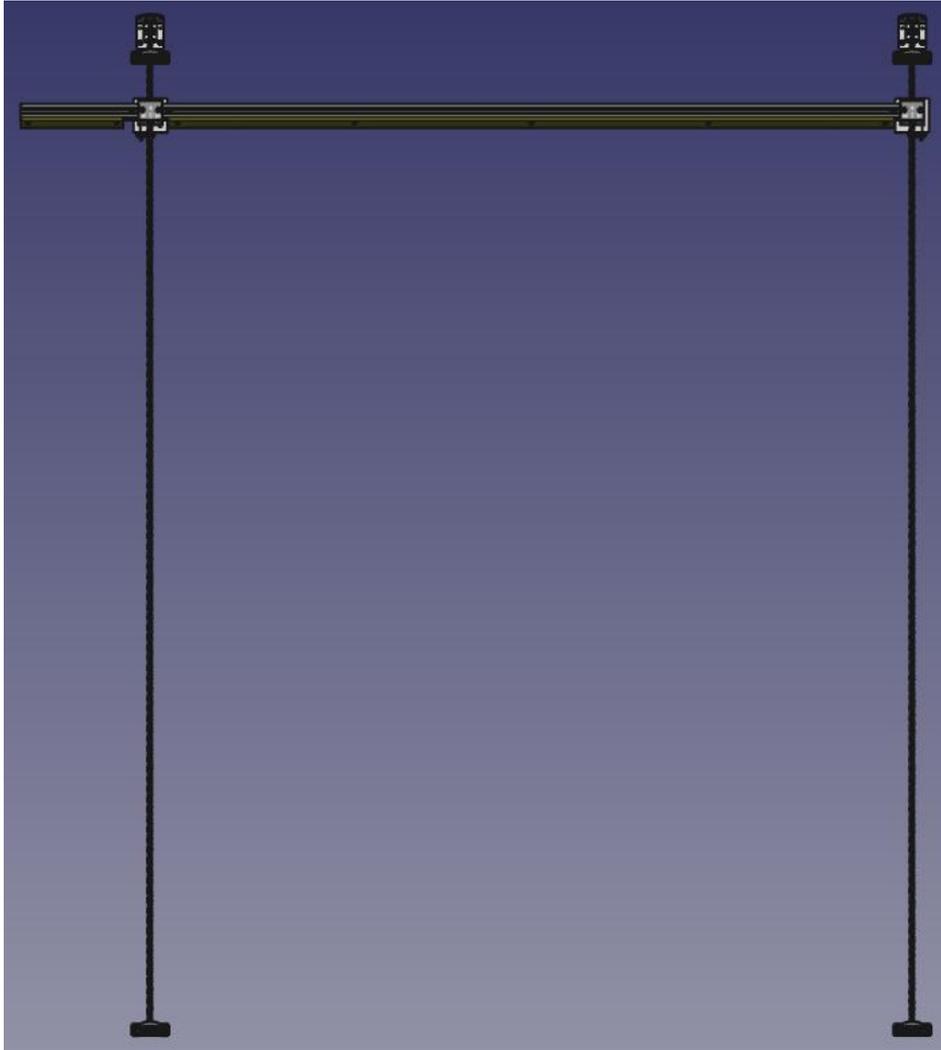


Figura 44. *Vista superior del sistema de potencia de la máquina.*

4.1.5. Diseño del sistema de rociado de agua

El sistema está conectado a la línea de agua potable y se utiliza tubería PVC de ½". En ingreso del agua al sistema se realiza a través de la llave de paso manual colocada con el fin de futuro mantenimiento o reparaciones. La electroválvula es activada por el sistema de control eléctrico y da paso al agua hacia los rociadores donde se tiene 3 rociadores para el colector de la terma solar, adicionalmente se ha considerado 1 rociador para el panel solar, ya que la máquina realiza su autolimpieza para mantener la recarga de la batería.

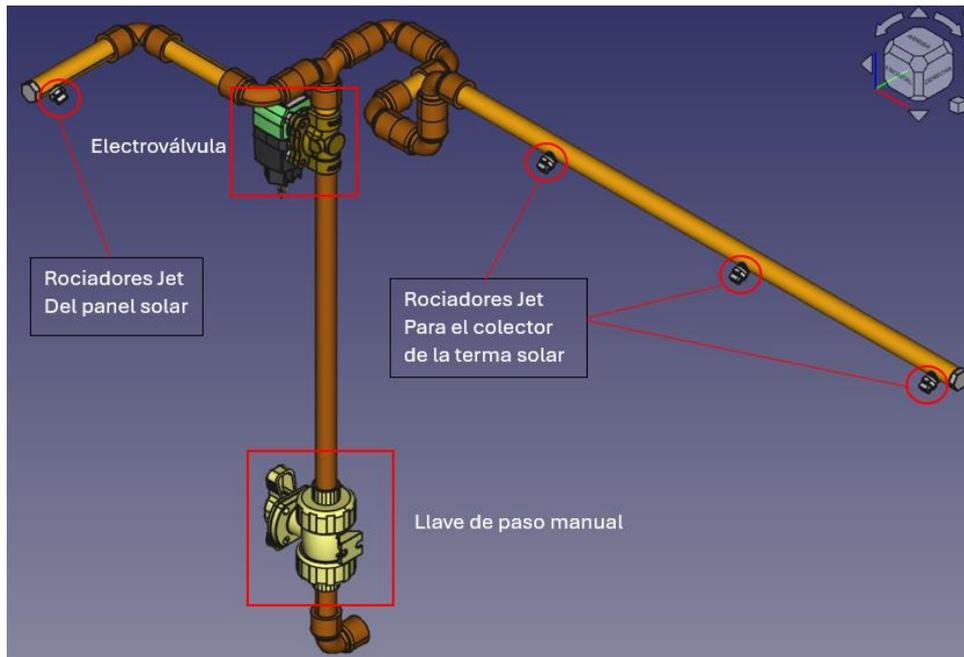


Figura 45. Sistema de rociado de agua.

4.1.6. Diseño del sistema de control automático y autosustentable

Se están utilizando 2 motorreductores cuyas características son como se muestran en la Tabla 17. Los motorreductores recibirán tensión desde un interruptor inteligente con conexión Wifi para la alimentación de tensión.

Tabla 17. Características del motorreductor seleccionado.

Dimensiones	42.3 mm x 48 mm
Peso	190 gr
Diámetro del eje	6 mm
Longitud de caja reductora	26.5 mm
Velocidad de rotación	35 rpm
Relación de reducción	168.75: 1
Corriente	0.05 A
Tensión	12 V
Velocidad de carga	27 rpm
Torque	8.8 kgf.cm
Corriente durante la carga	0.45 A
Torque de parada	38.8 kgf.cm
Corriente de parada	2.3 A

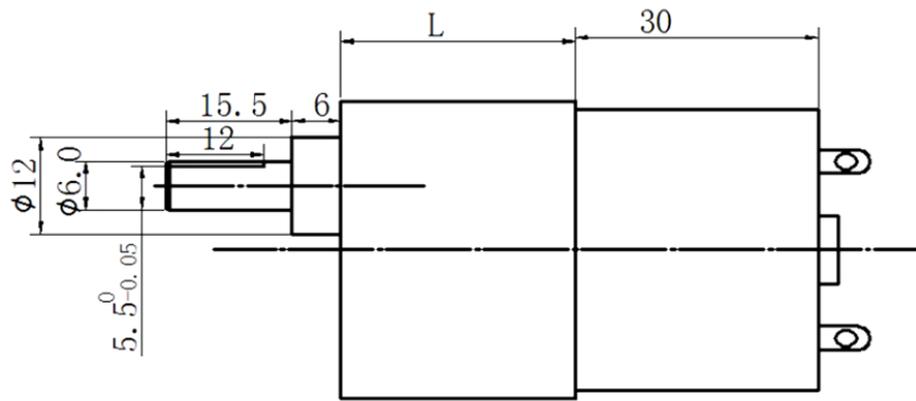


Figura 46. Dimensiones del motorreductor.

El sistema eléctrico cuenta con un panel solar que alimenta de corriente a la batería de 12V por intermedio de un controlador solar ubicado en la caja de control, la batería sirve como acumulador para proveer de tensión al interruptor inteligente para que active los relés DPDT que realizan la conmutación con la señal de los interruptores de final de carrera para poder invertir el giro de los motorreductores.

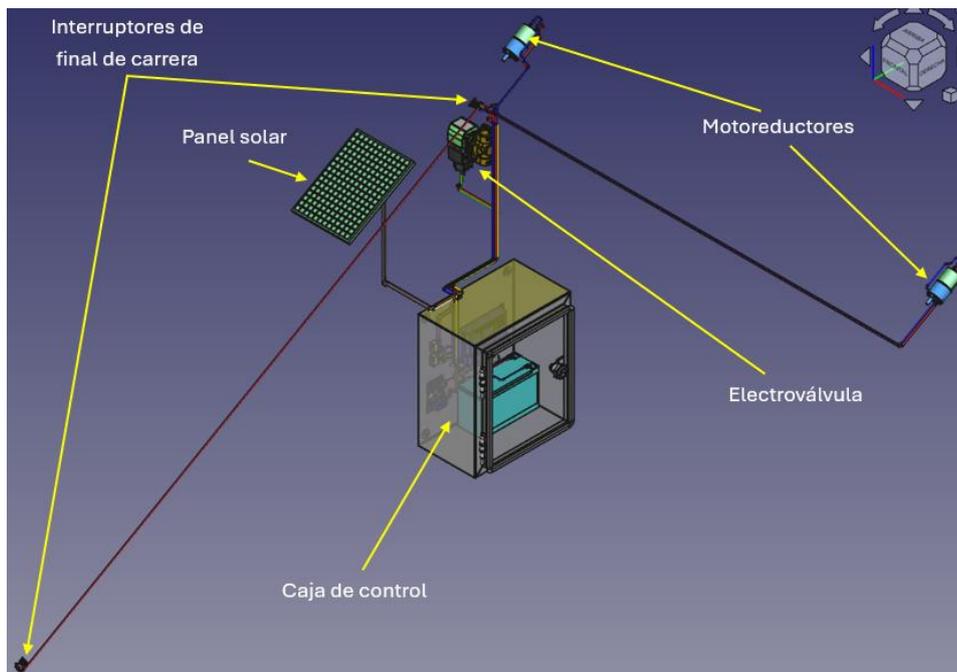


Figura 47. Sistema eléctrico de control.

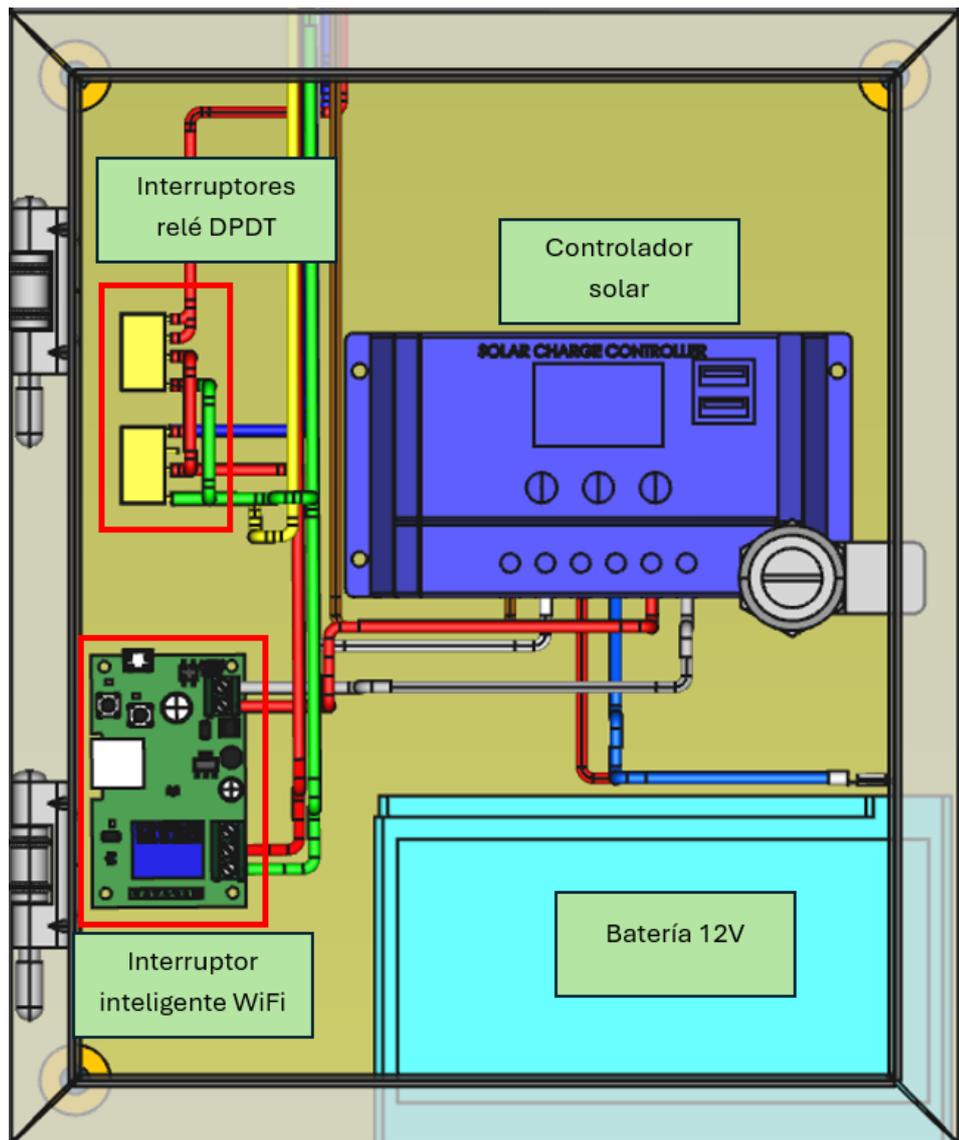


Figura 48. *Caja de control.*

En la caja de control se tiene el controlador solar, la batería de 12 V, el interruptor inteligente Wifi y dos interruptores relé DPDT.

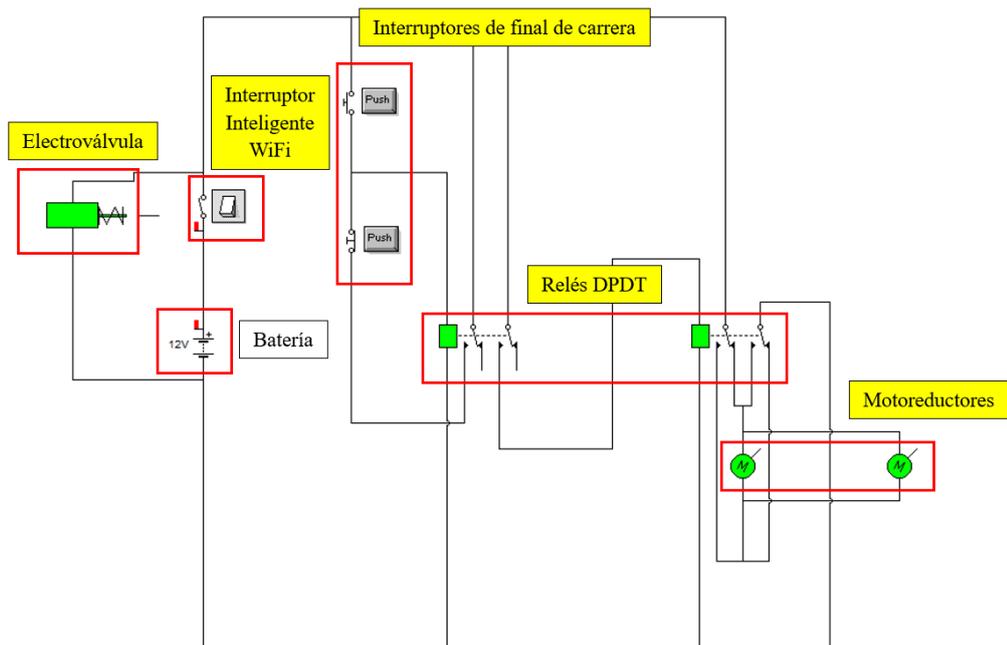


Figura 49. Esquema eléctrico realizado en Crocodile Clips V3.5 para simular el giro de retorno.

4.2. Discusión de resultados

- Se mejora la calidad de vida, ya que se obtiene agua caliente todos los días sin caer su temperatura siempre y cuando las condiciones del clima se mantengan. También la calidad de vida mejora por la conectividad que tiene la máquina, ya sea por celular, control a distancia o comando de voz; este último tiene que estar conectado a Google Home o Alexa, acoplándose fácilmente la máquina a la domótica del hogar.
- Se mejoró la seguridad, ya que, al implementar la máquina de limpieza de colectores de terma solar, ya no se requiere la intervención humana para una limpieza manual. Cabe resaltar que existen termas solares instaladas a gran altura para aprovechar la energía solar, y esta situación requiere una intervención en altura donde no todas las personas pueden tener acceso en caso de un ambiente doméstico. Si la intervención fuera en industria sería, con sistemas de anclaje, ya que estarían en zonas altas, esto expone al personal de mantenimiento a trabajos en altura. Con el presente mecanismo de limpieza se evitaría la frecuencia de intervenciones por limpieza de paneles y solo se haría en periodos más prolongados, como, por ejemplo, un mantenimiento anual.
- Contribución con el medio ambiente, la máquina funciona de manera autosustentable, no requiere conectarse a la red eléctrica doméstica, sino que emplea la energía solar para alimentar de corriente al sistema y también realiza la autolimpieza del panel solar que utiliza.

- Eficiencia en la operación: la máquina solo se activará una vez al día por un lapso de 11 minutos y puede programarse la limpieza en distintos horarios, aunque lo recomendable sería al iniciar el día para que los colectores de la terma solar puedan absorber el máximo calor. También no requiere la intervención directa del usuario para operar la máquina, ya que puede configurarse a distancia, ya que cuenta con conectividad Wifi.
- Adaptabilidad: el diseño del mecanismo de limpieza puede adaptarse fácilmente en el hogar, tanto en la ciudad como en zonas rurales; puede incluirse en la industria, campamentos mineros, etc., donde se utilizan gran cantidad de termas solares, pero requieren la intervención humana para la limpieza de los colectores. Su conectividad la hace práctica y adaptable a varios tipos de situaciones. También se puede considerar su aplicación en parques solares con una modificación escalable en el diseño.
- Reducción de costos: el impacto económico que proporciona el mecanismo al ser utilizado a gran escala, como por ejemplo en una zona industrial y campamentos mineros. Ya no se requiere una intervención humana constante y solo sería al momento de realizar un mantenimiento luego de un periodo prolongado; se obtendría agua permanentemente caliente y con una óptima temperatura sin necesidad de incurrir en gastos adicionales como la limpieza manual de los colectores por personal de mantenimiento.
- Accesibilidad: en la parte de control se cuenta con un interruptor inteligente que puede ser comandado a distancia de 3 formas distintas: la primera es por aplicación Wifi desde el teléfono, la segunda es con un mando a distancia y la tercera es por voz con apoyo de Alexa o Google Home. Este tipo de conectividad da accesibilidad a varios usuarios e incluso a personas que tuvieran alguna limitante física, esta limitante no sería ningún impedimento para poder realizar la limpieza periódica de los colectores y poder aprovechar la energía solar obteniendo agua caliente sin incurrir en gastos adicionales.

Observando los resultados finales y haciendo un resumen general que el diseño del mecanismo de limpieza aporta, se define que se mejora la calidad de vida y la seguridad, contribuye con el medioambiente, se obtiene una reducción de costos y se permite la accesibilidad de personas con alguna discapacidad o restricción física.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

Se diseñó una estructura ligera con resistencia a la corrosión, esta estructura utiliza perfiles de aluminio 6105 series V-Slot 2020, obteniendo un peso estructural de 7.86 kg, y un peso total aproximado de toda la máquina de 16.61 kg, este peso hace a la máquina bastante ligera para un fácil mantenimiento. La estructura, a su vez, ha demostrado rigidez; al aplicarle una fuerza de 17.126 N. El desplazamiento máximo en el puente es de 0.1427 mm, y su coeficiente de seguridad es de 15.

Se diseñó un mecanismo de limpieza que presenta un sistema práctico de funcionamiento, puede realizar la limpieza del colector de manera similar al limpiaparabrisas de un automóvil, utilizando un jebe para realizar el desplazamiento del agua y polvo, pero el desplazamiento lo realiza desde arriba hacia abajo en 2 o 3 ciclos, dependiendo de la programación del sistema de control. Para el desplazamiento, el mecanismo se apoya en el sistema de transmisión. El mecanismo también realiza la limpieza del panel solar que forma parte del sistema eléctrico de la máquina.

Se diseñó un sistema de transmisión similar a las máquinas CNC o impresoras 3D, pero solamente con el desplazamiento en el eje Y utilizando un tornillo de avance Acme de 4 entradas para proporcionar un mayor desplazamiento en cada revolución, por eso se pudo obtener una velocidad de avance de 22.62 mm/s, con una condición de autobloqueo permitiendo al puente no desplazarse cuando la máquina se encuentre en reposo, el tiempo total de funcionamiento calculado por día es de 10.91 minutos y determinando una vida nominal de los rodamientos de 2987.41 días.

Se diseñó un sistema de rociado de agua que se conecta a la red doméstica, como parte del sistema de control de activación se consideró una electroválvula que se activará junto con el

desplazamiento del mecanismo de limpieza, y por medio de unos rociadores se direccionará el chorro de agua hacia el colector de la terma solar.

Se diseñó un sistema de control utilizando relés DPDT para que se pueda realizar el desplazamiento repetitivo de retorno y con la adición de un interruptor de circuito inteligente Wifi, se realiza la programación de activación periódica del sistema.

Se realizó la selección del sistema de energía renovable, siendo seleccionado el de panel solar, ya que se aprovecha la radiación solar para proveer de energía eléctrica a la máquina siendo acumulada en una batería de 12 V para luego ser utilizada; de esta manera la máquina se convierte en autosustentable, contribuyendo con la conservación y cuidado del medio ambiente.

4.2. Recomendaciones

Se pueden incorporar sensores avanzados que puedan detectar la concentración de polvo sobre el colector, la temperatura del agua alcanzada, conexión con sistemas de monitoreo climatológico y con la ayuda de inteligencia artificial, determinar si el agua ya se encuentra a temperatura ideal para el baño, proponer horarios de baño dependiendo del clima, variar de manera dinámica la frecuencia de limpieza para optimizar recursos, que sería el uso del agua en los rociadores.

El polvo en un lapso de tiempo es una variable determinante para el mantenimiento de la máquina; se requiere investigar nuevos materiales que resistan la abrasión, la corrosión y que puedan impermeabilizar las partes móviles de la máquina como el sistema de transmisión de potencia, y prolongar su mantenimiento.

Referencias bibliográficas

- [1]W. Weiss y M. Spörk-Dür, «Desarrollo y tendencias del mercado global 2022», Gleisdorf, Austria, 2023. doi: 10.18777/ieashc-shw-2022-0001.
- [2]Diario Oficial El Peruano, «El gran potencial de la energía solar», *D. Of. El Perú.*, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.elperuano.pe/noticia/70012-el-gran-potencial-de-la-energia-solar#:~:text=Se%20estima%20que%20en%20el,en%20la%20ciudad%20de%20Arequipa>.
- [3]Cobian Edrian, «Optimización de limpieza de paneles solares en plantas fotovoltaicas», 2023, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/193421>
- [4]T. M. SHAIKH, «DISEÑO Y DESARROLLO DE SISTEMA DE LIMPIEZA DE PANELES SOLARES», 2015, [En línea]. Disponible en: <http://ethesis.nitrkl.ac.in/7602/>
- [5]J. A. Duffie y W. A. Beckman, *Solar engineering of thermal processes*. Wiley, 2013, p. 910.
- [6]M. Á. Barrena Gurbillón, G. R. Lobato Calderón, O. A. Gamarra Torres, y C. M. Ordinola Ramírez, «Eficiencia de una terma solar con un colector de cobre y otro de CPVC», *TAYACAJA*, vol. 3, n.º 1, pp. 165-176, jun. 2020, doi: 10.46908/rict.v3i1.79.
- [7]P. Bravo, T. Muro, A. Carlos, y A. Hugo, «MÉTODOS EXPERIMENTALES PARA LA EVALUACIÓN DE COLECTORES Y TERMAS SOLARES», Tacna, 1995. [En línea]. Disponible en: <https://docplayer.es/14402689-Metodos-experimentales-para-la-evaluacion-de-colectores-y-termas-solares.html>
- [8]H. Orosco Tuesta, «Evaluación energética de una terma solar con colector tipo espiral bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas.», 2023, [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/3300>
- [9]E. Avallone y T. I. Baumeister, *Manual del Ingeniero Mecánico*, Novena Edición., vol. Tomo I. 1995.
- [10]J. Abreu, «El Método de la Investigación», *Daena Int. J. Good Conscience*, vol. 9, n.º 3, pp. 195-204, 2014.
- [11]Lifeder, «Método experimental: qué es, características, pasos, ejemplos, ventajas». [En línea]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/metodo-cientifico-experimental/>
- [12]N. Cross, *Métodos de diseño*. Mexico: Limusa Wiley, 2002.
- [13]F. Bello y urbanismo Dpto Ciencias Sociales FCS, «REFLEXION: LA INVESTIGACION TECNOLOGICA: O CUANDO LA SOLUCIÓN ES EL PROBLEMA ¿QUE ES LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA?», [En línea]. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a6n13/6-13-3.pdf>
- [14]«Robot de Limpieza Automático SCM MODELO S2», Termo Eléctrico. Accedido: 11 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://www.termoelectrico.cl/pagina-del-producto/robot-de-limpieza-automático-scm-modelo-s2>
- [15]«L1 | SolarCleans». Accedido: 11 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://solarcleans.com/en/products/l1>

[16]«X601 Modelo 1630-1670mm Máquina de limpieza fotovoltaica colgante, central eléctrica fotovoltaica Robot kits de herramientas de limpieza de paneles solares - AliExpress 15», aliexpress. Accedido: 11 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.aliexpress.com/item/1005008159370206.html?src=ibdm_d03p0558e02r02&sk=&aff_platform=&aff_trace_key=&af=&cv=&cn=&dp=&aff_short_key=

[17]«Drone de Pulverização Pelicano 10 litros | E-agro». Accedido: 11 de abril de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://e-agro.com.br/loja/drone-de-pulverizac-o-pelicano-10-litros/p?oferta=4692>

[18]K. N. I. y S. M. G., *Manual de Física Elemental*. Editorial Mir, 1975.

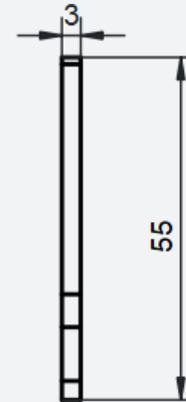
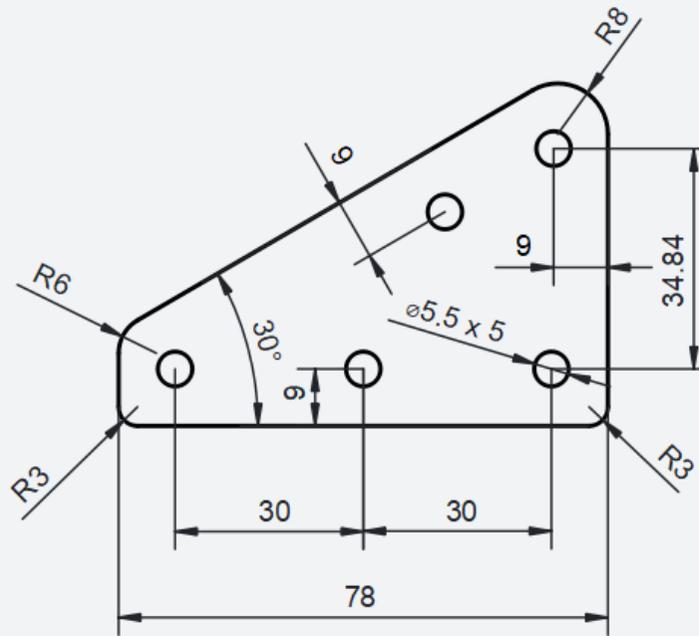
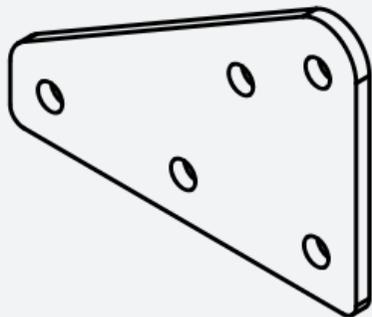
[19]«608-2RSH - Rodamientos rígidos de bolas | SKF». Accedido: 28 de octubre de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.skf.com/pe/products/rolling-bearings/ball-bearings/deep-groove-ball-bearings/productid-608-2RSH>

[20]«Sistema de control lazo cerrado», [En línea]. Disponible en: http://3.bp.blogspot.com/-gkW6H0tR-pY/UjTI_3-YoTI/AAAAAAAAACc/mgzkC4oqng8/s1600/control_riego_figura6.gif

[21]R. G. Budynas y J. Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 8va Edición*. 2008.

[22]«Sistema de control lazo abierto». Accedido: 4 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://4.bp.blogspot.com/-OqqJg3aK7EU/UjTItDJhRJI/AAAAAAAAACU/0iwN_E97oDA/s1600/20070821klpinginf_38.Ees.SCO.png

ANEXO



 **Universidad
Continental**

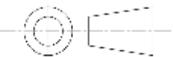
Dibujado por: Bach. Manuel Cruz

Revisado por: Ing. Roberto Quispe

Aprobado por: Ing. Roberto Quispe

Escala: 1:1

Material: Aluminio 6105



E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto:

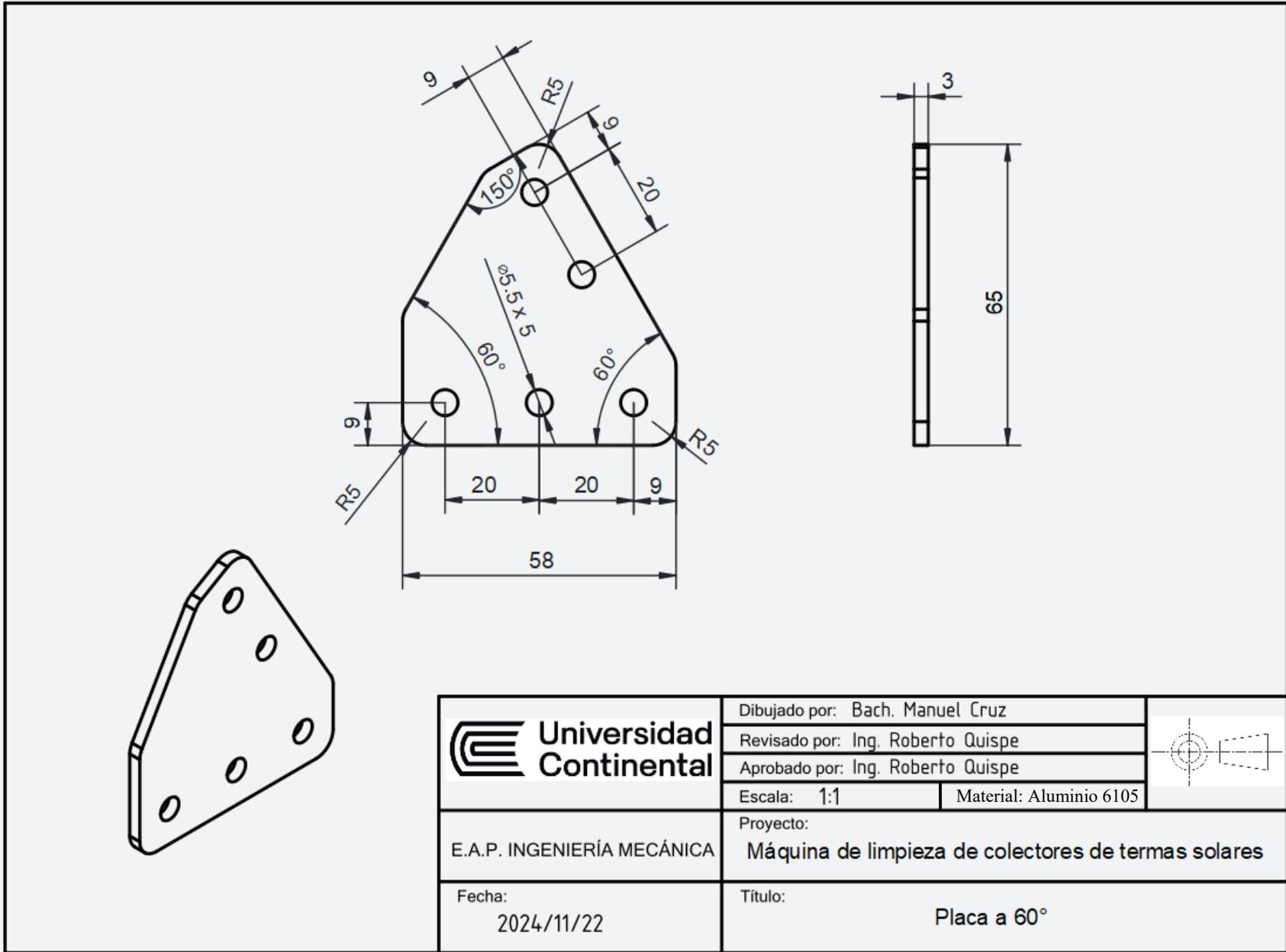
Máquina de limpieza de colectores de termas solares

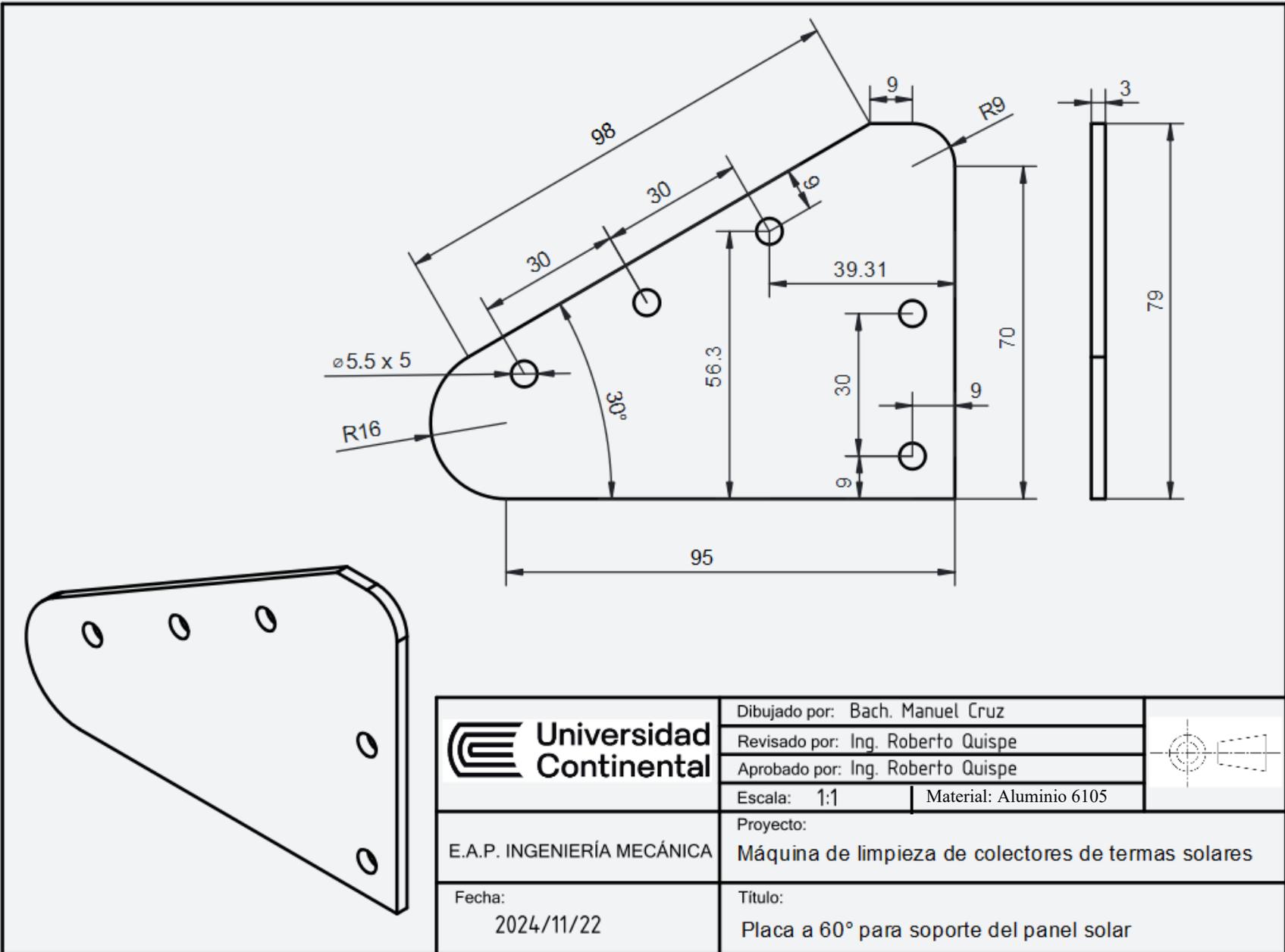
Fecha:

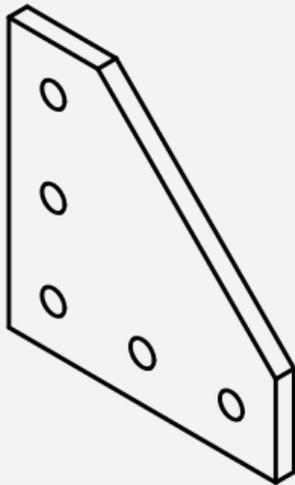
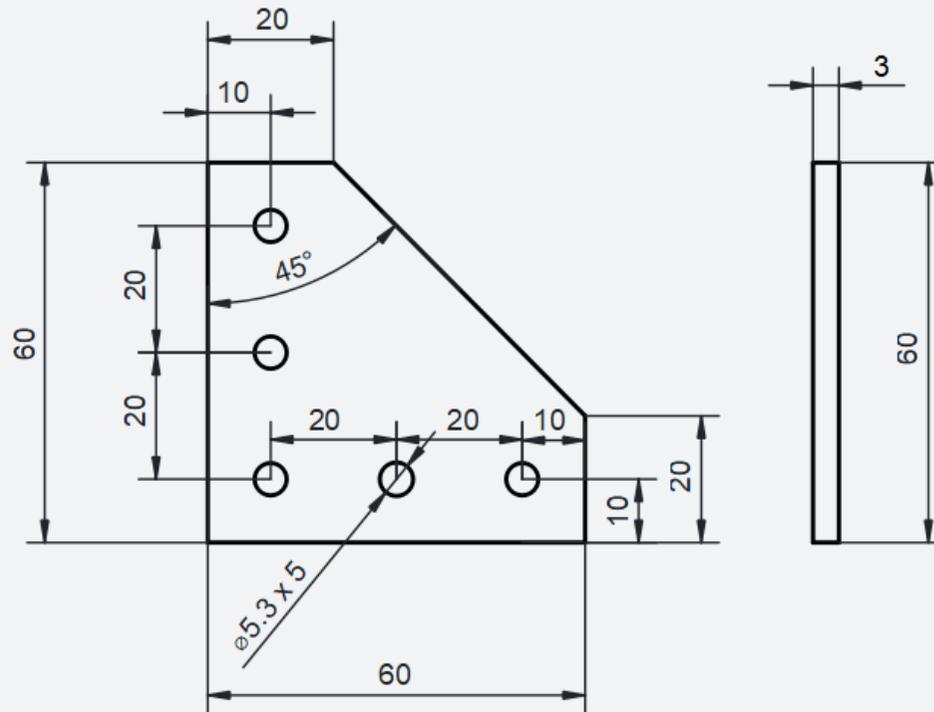
2024/11/22

Título:

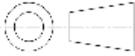
Placa a 30°

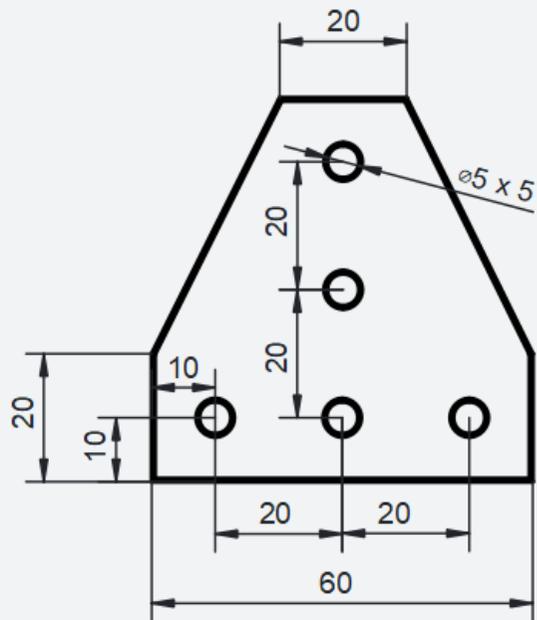
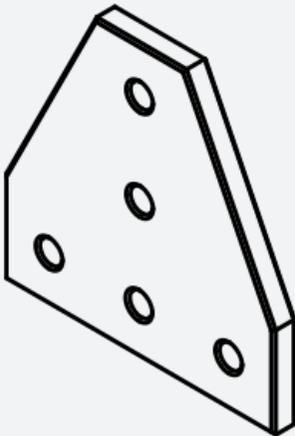






Material: Aluminio 6105

	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz	
	Revisado por: Ing. Roberto Quispe	
Aprobado por: Ing. Roberto Quispe		
	Escala: 1:1	Material: Aluminio 6105
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Proyecto: Máquina de limpieza de colectores de termas solares	
Fecha: 2024/11/22	Título: Placa estandar a 45°	



E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA

Fecha:
2024/11/22

Dibujado por: Bach. Manuel Cruz

Revisado por: Ing. Roberto Quispe

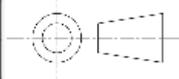
Aprobado por: Ing. Roberto Quispe

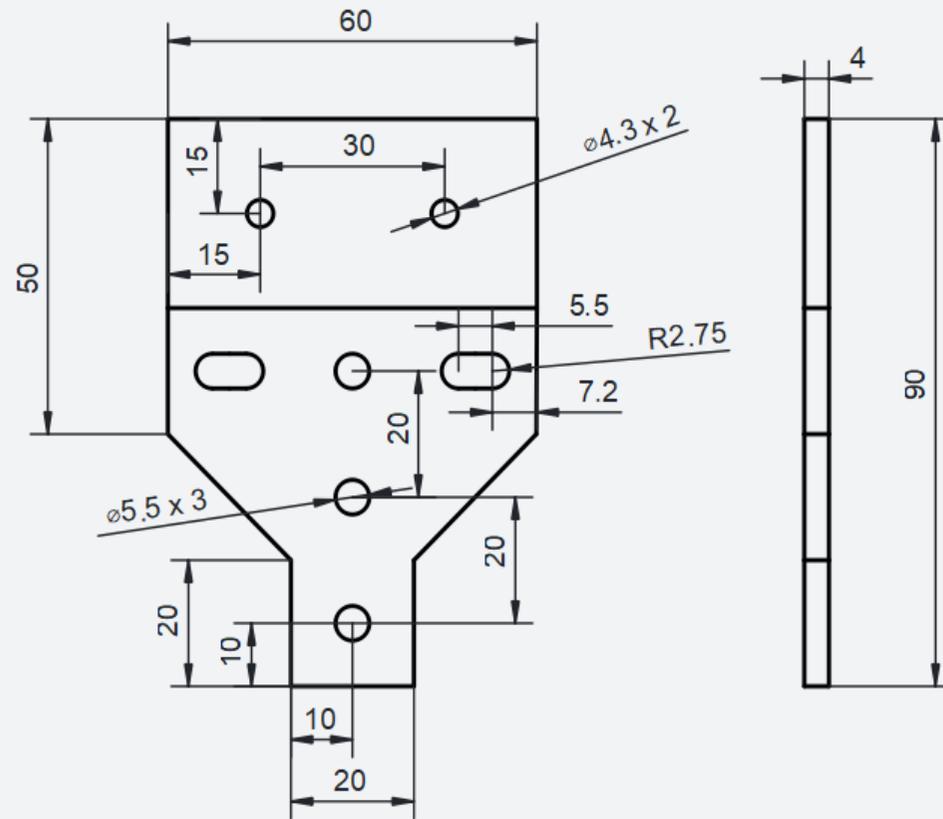
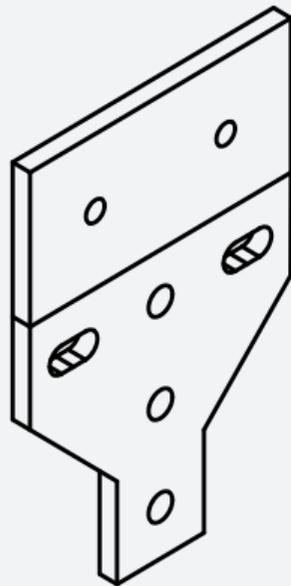
Escala: 1:1

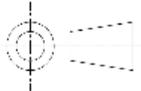
Material: Aluminio 6105

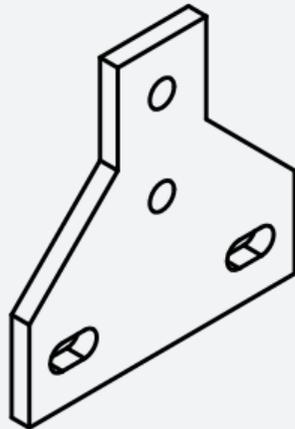
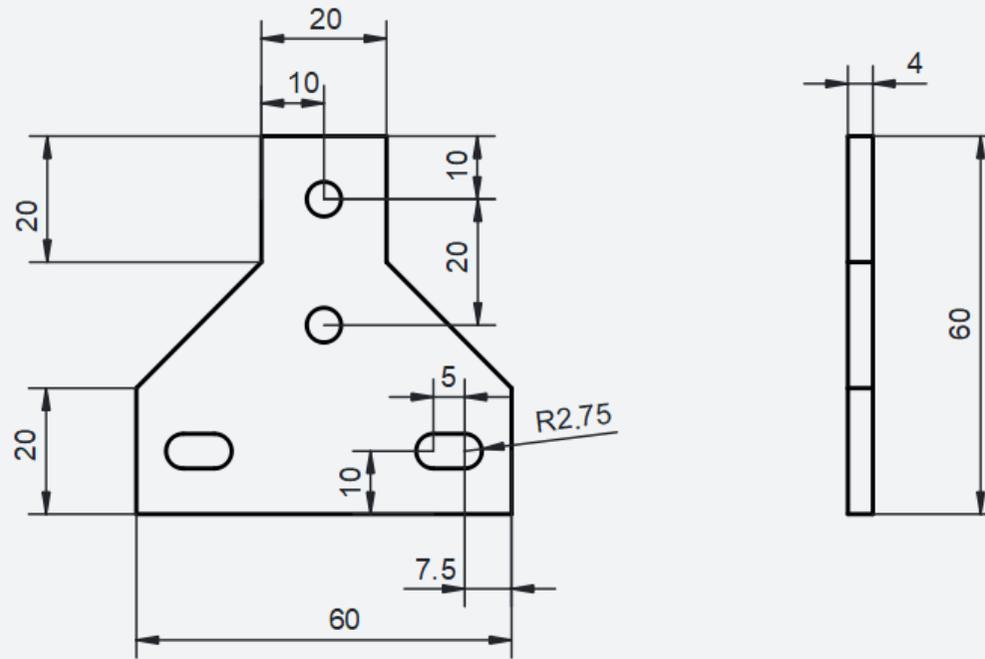
Proyecto:
Máquina de limpieza de colectores de termas solares

Título:
Placa estandar a 90° en T

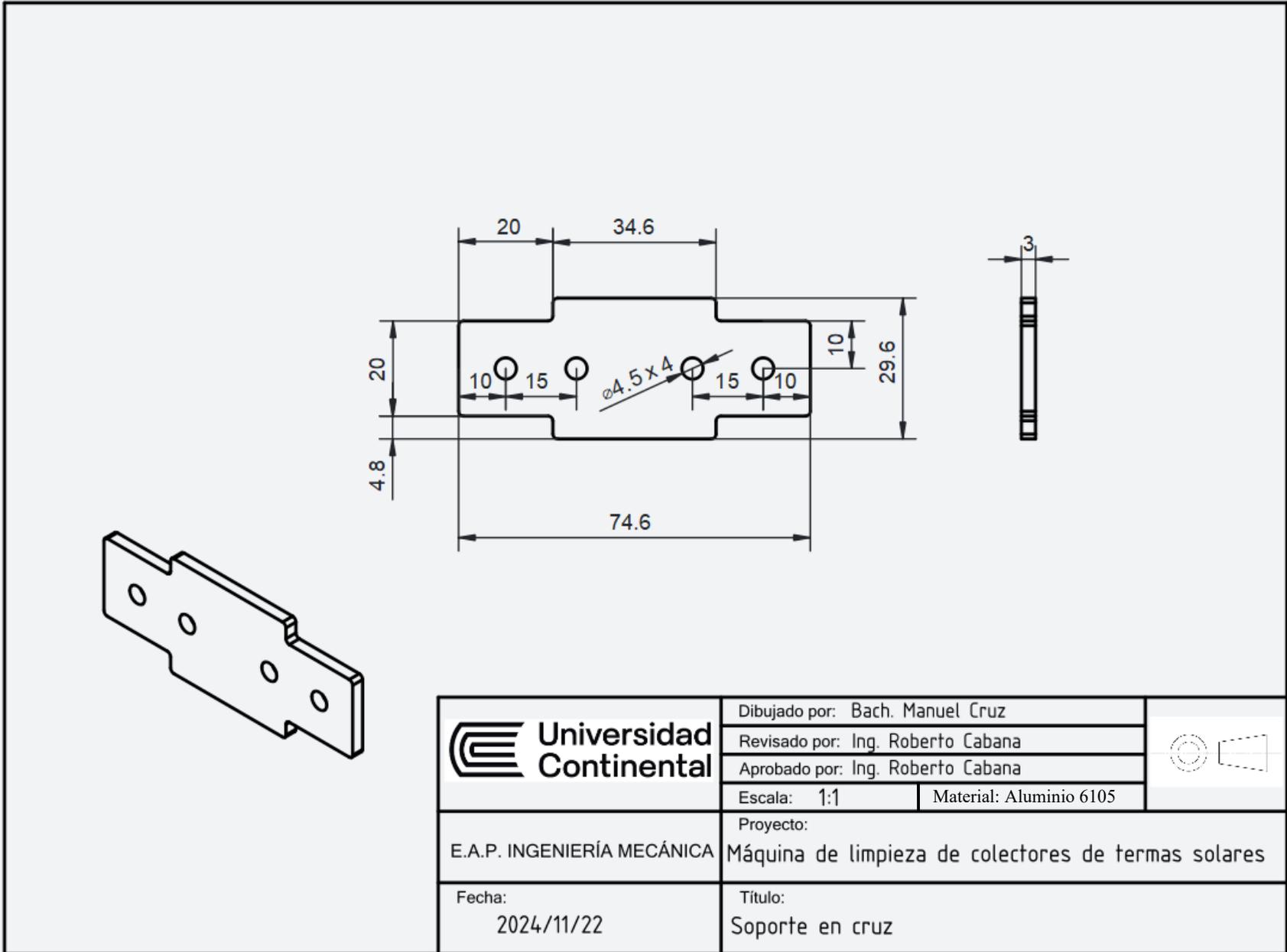


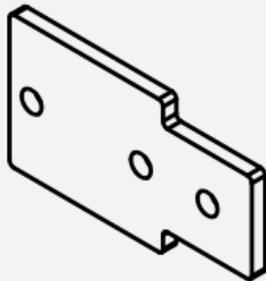
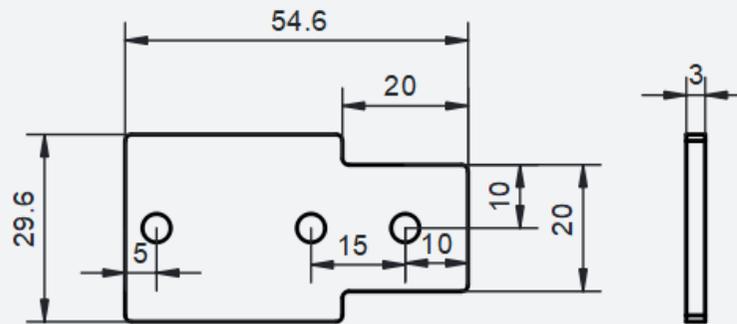


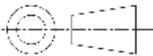
 Universidad Continental	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz		
	Revisado por: Ing. Roberto Quispe		
	Aprobado por: Ing. Roberto Quispe		
	Escala: 1:1	Material: Aluminio 6105	
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Proyecto: Máquina de limpieza de colectores de termas solares		
Fecha: 2024/11/22	Título: Soporte en T largo		

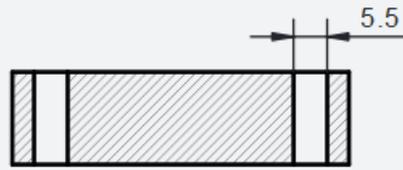


 Universidad Continental	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz		
	Revisado por: Ing. Roberto Quispe		
	Aprobado por: Ing. Roberto Quispe		
	Escala: 1:1	Material: Aluminio 6105	
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Proyecto: Máquina de limpieza de colectores de termas solares		
Fecha: 2024/11/22	Título: Soporte en T corto		

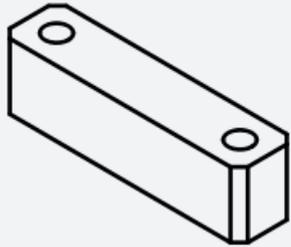
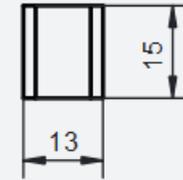
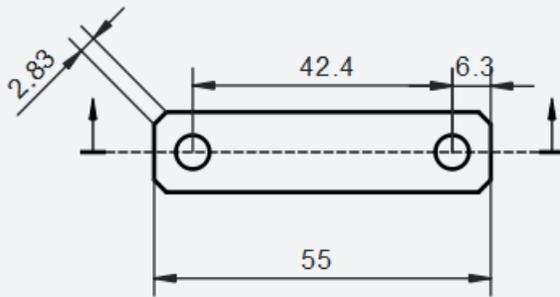


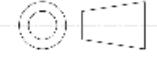


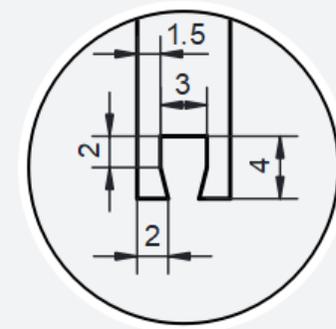
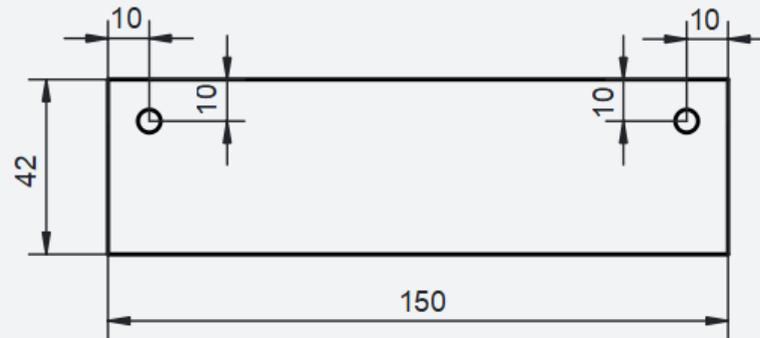
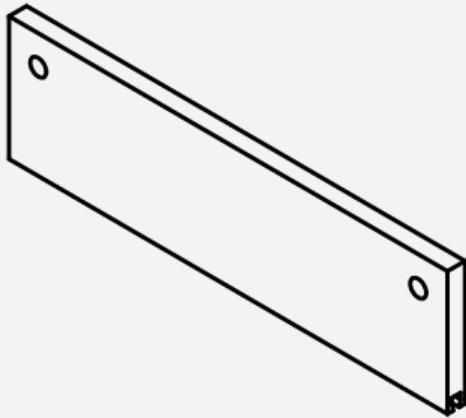
 Universidad Continental	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz		
	Revisado por: Ing. Roberto Cabana		
	Aprobado por: Ing. Roberto Cabana		
	Escala: 1:1	Material: Aluminio 6105	
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Proyecto: Maquina de limpieza de colectores de termas solares		
Fecha: 2024/11/22	Título: Soporte en T		

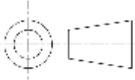


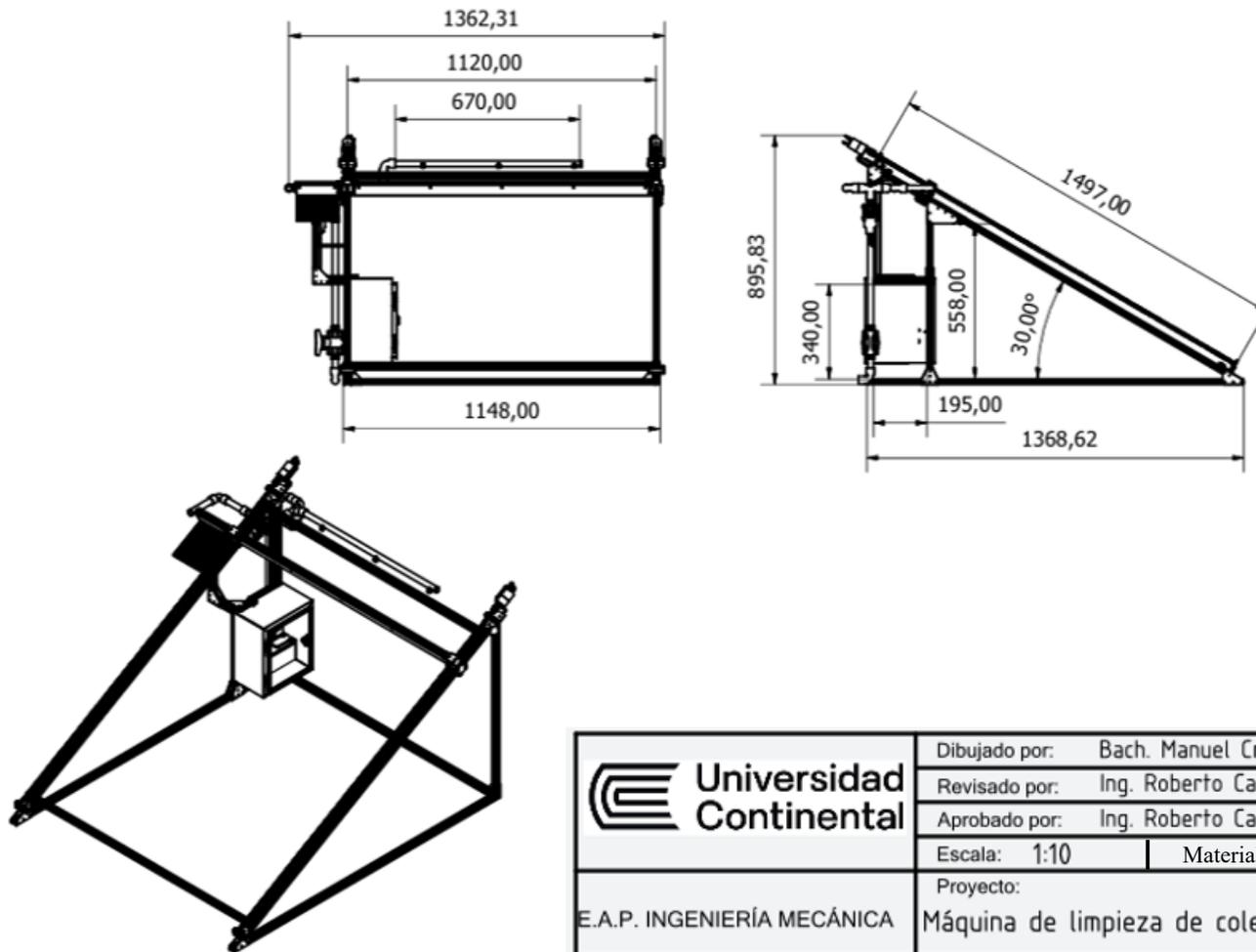
Section - A

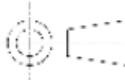


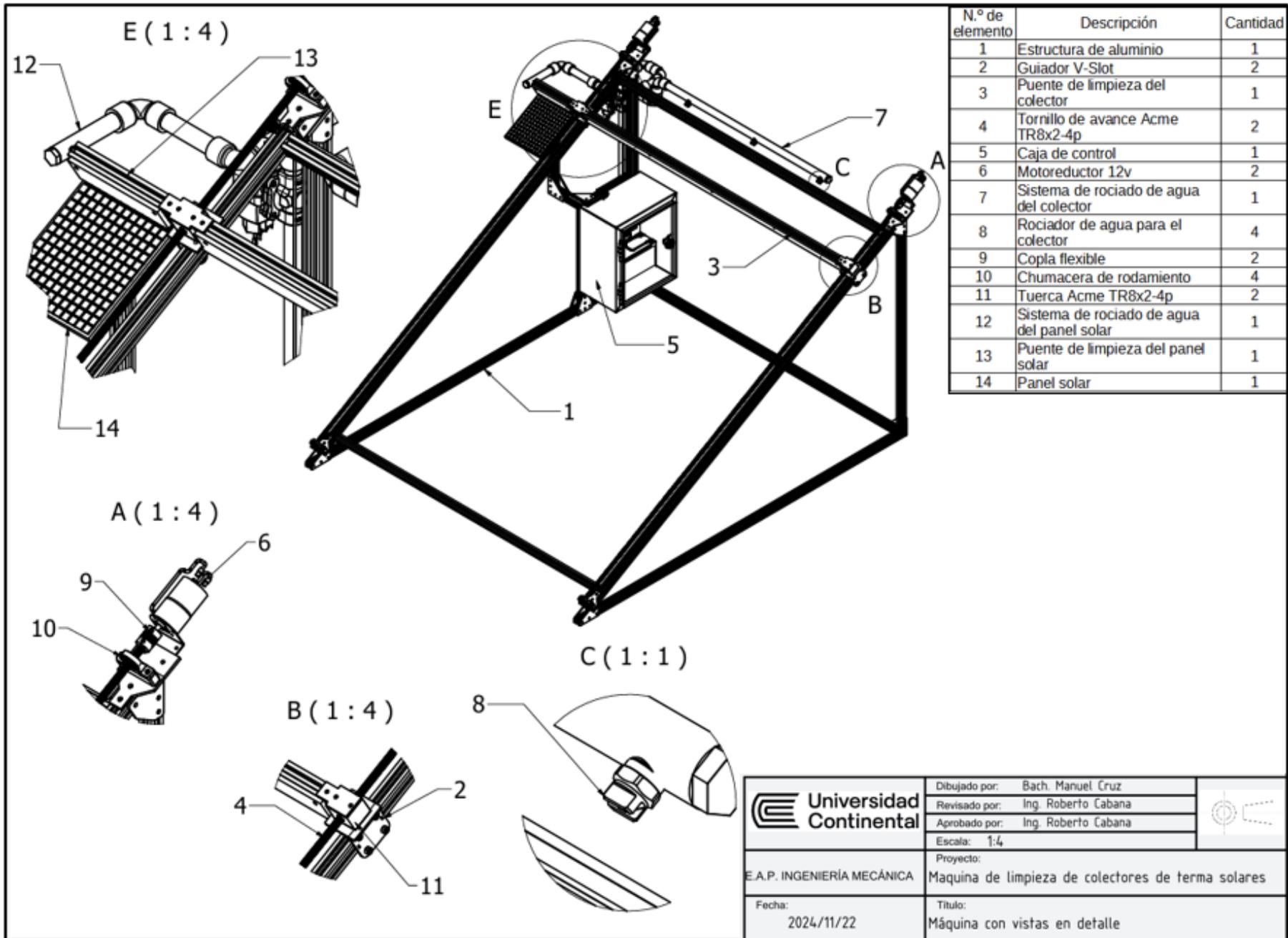
 Universidad Continental	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz		
	Revisado por: Ing. Roberto Cabana		
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Aprobado por: Ing. Roberto Cabana		
	Escala: 1:1	Material: Aluminio 6105	
Fecha: 2024/11/22	Proyecto: Máquina de limpieza de colectores de termas solares		
	Título: Suple de chumacera		

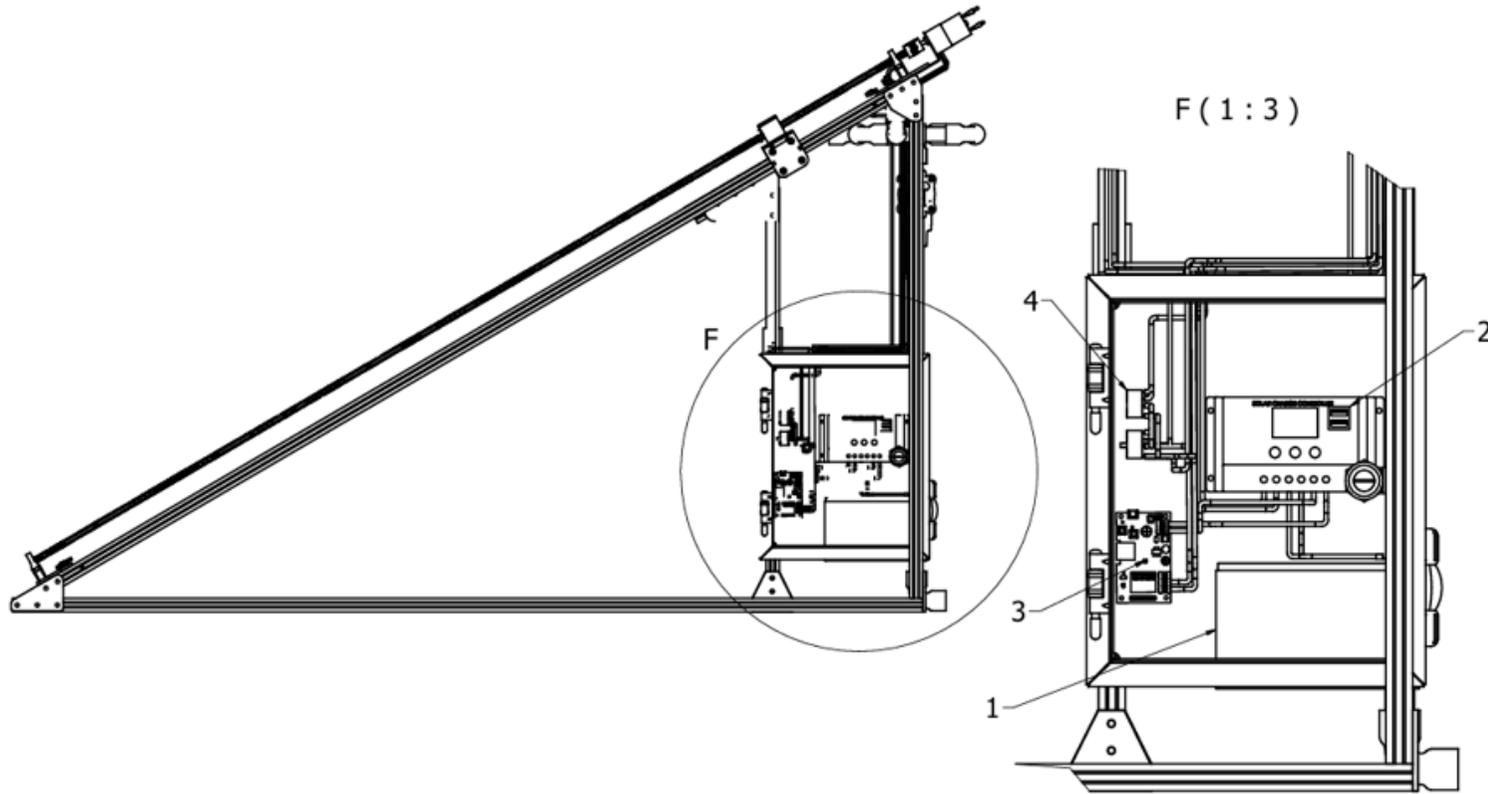


 Universidad Continental	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz		
	Revisado por: Ing. Roberto Cabana		
	Aprobado por: Ing. Roberto Cabana		
	Escala: 2:3	Material: Aluminio 6105	
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Proyecto: Máquina de limpieza de colectores de termas solares		
Fecha: 2024/11/22	Título: Soporte de jebe de limpieza del panel solar		



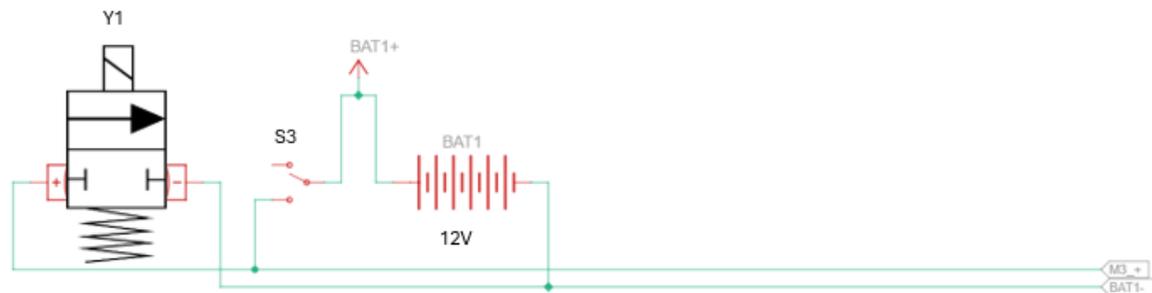
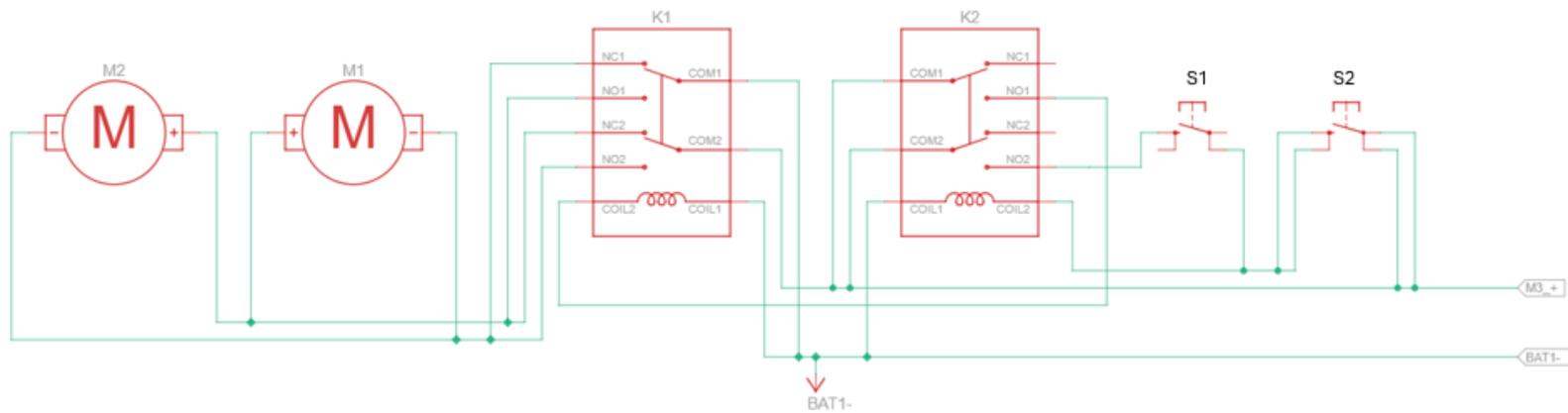
 Universidad Continental	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz	
	Revisado por: Ing. Roberto Cabana	
	Aprobado por: Ing. Roberto Cabana	
	Escala: 1:10	Material: Aluminio 6063
E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Proyecto: Máquina de limpieza de colectores de termas solares	
Fecha: 2024/11/22	Título: Vista general de la maquina	





N.º de elemento	Descripción	Cantidad
1	Batería 12v	1
2	Controlador solar	1
3	Interruptor inteligente WiFi	1
4	Interruptor relé DPDT	2

 Universidad Continental E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA	Dibujado por: Bach. Manuel Cruz	
	Revisado por: Ing. Roberto Cabana	
	Aprobado por: Ing. Roberto Cabana	
	Escala: 1:4 Material: Aluminio 6063	
Fecha: 2024/11/22	Proyecto: Maquina de limpieza de colectores de terma solares	Título: Detalle caja de control



Nº de elemento	Descripcion	Cantidad
M1	Motoreductor 1	1
M2	Motoreductor 2	1
Y1	Electroválvula	1
K1	Relé DPDT 1	1
K2	Relé DPDT 2	1
S1	Interruptor de final de carrera 1	1
S2	Interruptor de final de carrera 2	1
S3	Interruptor inteligente WiFi	1
BAT1	Bateria 12 voltios	1

Universidad Continental

Dibujado por: Bach. Manuel Cruz

Revisado por: Ing. Roberto Cabana

Aprobado por: Ing. Roberto Cabana

Escala: 1:4

E.A.P. INGENIERÍA MECÁNICA

Proyecto:
Maquina de limpieza de colectores de terma solares

Fecha:
2024/11/22

Título:
Circuito eléctrico Sistema de control

