



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
Departamento de Ingenierías

# **REPORTE FINAL PARA ACREDITAR LA RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

PRESENTA:  
JOSÉ GUADALUPE AGUAYO GUILLEN

CARRERA:  
INGENIERÍA MECATRÓNICA

***[DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE GIRO 3D PARA UN SISTEMA DE  
SEGUIMIENTO SOLAR: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN]***

Laboratorio de Conversión de la Energía  
Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



M. en C. VÍCTOR MANUEL HERRERA AMBRIZ  
Asesor externo

DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR  
Asesor interno

Diciembre de 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a las personas que han sido fundamentales en el éxito de mis residencias profesionales. En primer lugar, a mis padres, quienes han sido mi pilar y fuente constante de apoyo. Su amor incondicional, sacrificio y aliento han sido la fuerza motriz detrás de cada logro y superación durante este periodo. Agradezco infinitamente su dedicación y confianza en mí.

Quiero agradecer al Dr. Dena por su valioso apoyo y orientación durante mis residencias profesionales. Su conocimiento y dedicación han sido fundamentales para mi crecimiento en este periodo. Estoy agradecido/a por la oportunidad de aprender de su experiencia y liderazgo. Su influencia ha dejado una huella positiva en mi desarrollo profesional, y le agradezco sinceramente por su contribución a mi formación.

A su vez, mi profundo agradecimiento al Tecnológico de Pabellón de Arteaga por brindarme la invaluable oportunidad de llevar a cabo mis prácticas profesionales en esta institución. Esta experiencia ha sido fundamental para mi desarrollo profesional y ha ampliado significativamente mis conocimientos en mi campo de estudio. Agradezco sinceramente a todos los miembros del Tecnológico por su apoyo, orientación y el ambiente propicio para el aprendizaje que han proporcionado. Estoy agradecido por la oportunidad de contribuir y aprender en esta prestigiosa institución educativa.

También dar mi sincero agradecimiento a Aldo por ser un compañero de valor durante el período de mis prácticas profesionales. Su colaboración y apoyo constante fueron fundamentales para superar cada reto que enfrentamos. La dedicación y trabajo en equipo que compartimos no solo facilitaron el logro de nuestras metas, sino que también enriquecieron mi experiencia en el entorno profesional. Agradezco sinceramente la oportunidad de contar con un compañero como Aldo, cuya contribución fue esencial para alcanzar el éxito en esta etapa de mi carrera.

## RESUMEN

### “DESARROLLO DE UNA UNIDAD DE GIRO 3D PARA UN SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN”

Por: **JOSÉ GUADALUPE AGUAYO GUILLEN**

Se presenta una propuesta de diseño, construcción y programación de una unidad de giro 3D, conocida también como “slewing drive” a base de impresión 3D en material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) con un mecanismo de giro tipo engranaje helicoidal. La unidad de giro se integro a un sistema de seguimiento solar para controlar el movimiento de 1 eje de un colector solar de canal parabólico mediante un mecanismo de seguimiento solar compuesto por la propia unidad de giro, un actuador y un drive controlador de motor a pasos. La unidad de giro 3D bajo su arquitectura de rodamiento de anillo giratorio de rodillo cuenta con una carcaza completamente cerrada y un tren de transmisión para la rotación de un eje perpendicular al eje de un tornillo sinfín (colocado en el eje horizontal) en sentido horario o antihorario. Con la unidad de giro 3D puesta en operación e integrado a un colector solar de canal parabólico se logro mantener los rayos solares sobre un receptor ubicado en el foco de la parábola e incrementar su temperatura hasta 120 °C con únicamente la acción de la energía solar. Por cuestiones de patentado, solo se presentan algunos resultados. El presente trabajo es producto del proyecto de EPM, modalidad 1, “Diseño y construcción de una máquina extrusora solar horizontal de tornillo simple con calentamiento mayor a 200 °C mediante un sistema automático de concentración solar para su implementación en la industria del reciclaje de plásticos”: (1) convocatoria 2021-ID 1086950, (2) convocatoria 2022(1)-ID 2708283\_continuidad y (3) convocatoria 2022(1)\_renovación 2023.

Dirigido por:

**M. en C. Víctor Manuel Herrera Ambriz**

**Dr. José Alonso Dena Aguilar**

# ÍNDICE

	Pág.
<b>I. GENERALIDADES DEL PROYECTO</b> .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa u organización y del puesto o área de trabajo del residente.....	1
1.3 Problema(s) a resolver.....	3
1.4 Justificación.....	4
1.5 Objetivos.....	5
1.5.1 Objetivo general.....	5
1.5.2 Objetivos específicos.....	5
1.6 Alcances y limitaciones.....	6
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Energía solar.....	7
2.2 Energía solar concentrada.....	8
2.3 Concentradores solares de canal parabólico.....	9
2.4 Seguidores solares (solar tracker).....	11
2.5 Slewing drives y sus aplicaciones .....	13
<b>III. DESARROLLO</b> .....	17
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	17
3.1.1 Diseño de la unidad de giro .....	18
3.1.2 Construcción de la unidad de giro .....	18
3.1.3 Pruebas de funcionamiento .....	19
3.2 Cronograma de actividades.....	23
<b>V. RESULTADOS</b> .....	24
4.1 Diseños de la unidad de giro .....	24
4.2 Manufactura de la unidad de giro .....	26

	Pág.
4.3 Integración de la unidad de giro al sistema de seguimiento solar propuesto .....	29
4.4 Diagrama electrónico de movimiento de la unidad de giro .....	31
4.5 Operación de la unidad de giro: temperaturas alcanzadas en el receptor.....	32
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>34</b>
<b>VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....</b>	<b>35</b>
<b>VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>36</b>
<b>Anexo 1.</b> Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	<b>38</b>
<b>Anexo 2.</b> Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	<b>39</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Organigrama de la institución y del área de residencia.....	3
<b>Figura 2.</b> Aprovechamiento de la energía solar.....	7
<b>Figura 3.</b> Arquitectura solar pasiva.....	8
<b>Figura 4.</b> Paneles de energía solar térmica concentrada.....	9
<b>Figura 5.</b> Esquema de funcionamiento de un concentrador de canal parabólico....	10
<b>Figura 6.</b> Esquema de funcionamiento de un concentrador de Fresnel.....	11
<b>Figura 7.</b> Planta de solar trackers.....	12
<b>Figura 8.</b> Paneles de energía solar de seguimiento.....	13
<b>Figura 9.</b> Slewing Drive.....	14
<b>Figura 10.</b> Slewing Drive.....	15
<b>Figura 11.</b> Aplicaciones del Slewing Drive.....	16
<b>Figura 12.</b> Slewing drive comercial (propiedad de CIO, A.C. Unidad Aguascalientes).....	17
<b>Figura 13.</b> Slewing drive comercial (propiedad de CIO, A.C. Unidad Aguascalientes).....	17
<b>Figura 14.</b> Diseño final de la unidad de giro de estudio.....	18

	Pág.
<b>Figura 15.</b> Impresora Makerbot 3D Replicator 2x.....	19
<b>Figura 16.</b> Colector solar de canal parabólico de estudio.....	20
<b>Figura 17.</b> Sistema mecatrónico de control de rotación de la unidad de giro.....	20
<b>Figura 18.</b> Premontaje de la unidad de giro.....	21
<b>Figura 19.</b> Ensamble de control de unidad de giro.....	22
<b>Figura 20.</b> Receptor de estudio integrado en una estructura de soporte con el colector solar de canal parabólico.....	22
<b>Figura 21.</b> Cronograma de actividades general.....	23
<b>Figura 22.</b> Vista en perspectiva del slewing drive completo.....	24
<b>Figura 23.</b> Vista en perspectiva de la carcasa.....	24
<b>Figura 24.</b> Vista en perspectiva de la corona de giro y el tornillo sin fin.....	25
<b>Figura 25.</b> Vista en perspectiva de la base de la carcasa.....	25
<b>Figura 26.</b> Vista en perspectiva del tornillo sin fin.....	26
<b>Figura 27.</b> Vista en perspectiva de la base y tapa trasera de la carcasa de la unidad de giro.....	26
<b>Figura 28.</b> Vista superior de la tapa frontal de la carcasa de la unidad de giro.....	27

	Pág.
<b>Figura 29.</b> Vista superior de la corona de giro de la unidad de giro.....	27
<b>Figura 30.</b> Vista superior del adaptador metálico de sujeción.....	28
<b>Figura 31.</b> Vista del tornillo sin fin.....	28
<b>Figura 32.</b> Vista del tornillo situado en la base de la carcasa.....	28
<b>Figura 33.</b> Sistema completo integrado: unidad de giro y motor NEMA.....	29
<b>Figura 34.</b> Unidad de giro horizontal acoplada al eje de giro del colector: 1. Carcasa. 2. Adaptador de sujeción de la corona de giro. 3. Disco de giro perforado. 4. Eje de giro de parábola. 5. Motor NEMA.....	30
<b>Figura 35.</b> Unidad de giro horizontal acoplada al eje de giro del colector: A. Unidad de giro. B. Motor NEMA. C. Colector solar de canal parabólico. D. Receptor.....	30
<b>Figura 36.</b> Diagrama electrónico de control de la unidad de giro.....	31
<b>Figura 37.</b> Puntos de medición de la pruebas de funcionamiento de la unidad de giro.....	32
<b>Figura 38.</b> Temperaturas logradas en el receptor con la acción de la unidad de giro manteniendo los rayos solares concentrados sobre el receptor según el movimiento aparente del Sol. T1 y T5 son en el interior del receptor; T2, T3 y T4 lecturas sobre la superficie externa del receptor.....	33



## I. GENERALIDADES DEL PROYECTO

### 1.1 Introducción

El INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA es una institución de educación superior ubicada en el Municipio de Pabellón de Arteaga del Estado de Aguascalientes y como parte de sus objetivos se encuentra el desarrollo de proyectos de innovación e investigación a través de residencias profesionales que den soluciones a problemas de la industria, de ciencia aplicada o de desarrollo tecnológico. Su laboratorio de Conversión de la Energía inicio operaciones en enero de 2019 dentro del programa de Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica que se oferta en el plantel y donde se promueven proyectos de posgrado, desarrollo tecnológico, investigación e innovación acordes a la línea de investigación de conversión de la energía. Esta línea de investigación se enfoca a procesos de conversión de la energía y energías renovables mediante el diseño e integración de procesos orientados para la generación, almacenamiento y uso eficiente de la energía.

Uno de estos proyectos se refiere al desarrollo de un sistema de seguimiento solar para una máquina extrusora híbrida.

En este trabajo se propone el diseño, construcción y programación de una unidad de giro 3D, llamada también “slewing drive” a base de impresión 3D en material ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) con un mecanismo de giro tipo engranaje helicoidal.

Por cuestiones de patentado, solo se presentan algunos resultados.

### 1.2 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la institución es la educación, específicamente la educación superior, así como el desarrollo de proyectos de innovación e investigación con la industria (desarrollo tecnológico) o académicos (ciencia aplicada).

Sus políticas de misión, visión, objetivos (retos) y valores de la institución son:

#### *Misión*

Brindar un servicio de educación superior de calidad comprometido con la generación, difusión y conservación del conocimiento científico, tecnológico y humanista,

a través de programas educativos que permitan un desarrollo sustentable, conservando los principios universales en beneficio de la humanidad.

### *Visión*

Ser una institución de educación superior reconocida a nivel nacional e internacional, líder en la formación integral de profesionistas de calidad y excelencia, que promueve el desarrollo armónico del entorno.

### *Objetivos de la empresa*

Asegurar la calidad de todos los procesos académicos, entre los que se encuentran:

- El diseño de especialidades
- Asesoría de residencias profesionales
- Desarrollo de proyectos de innovación
- Servicios de educación continua
- Investigación educativa
- Acreditaciones de planes de estudio

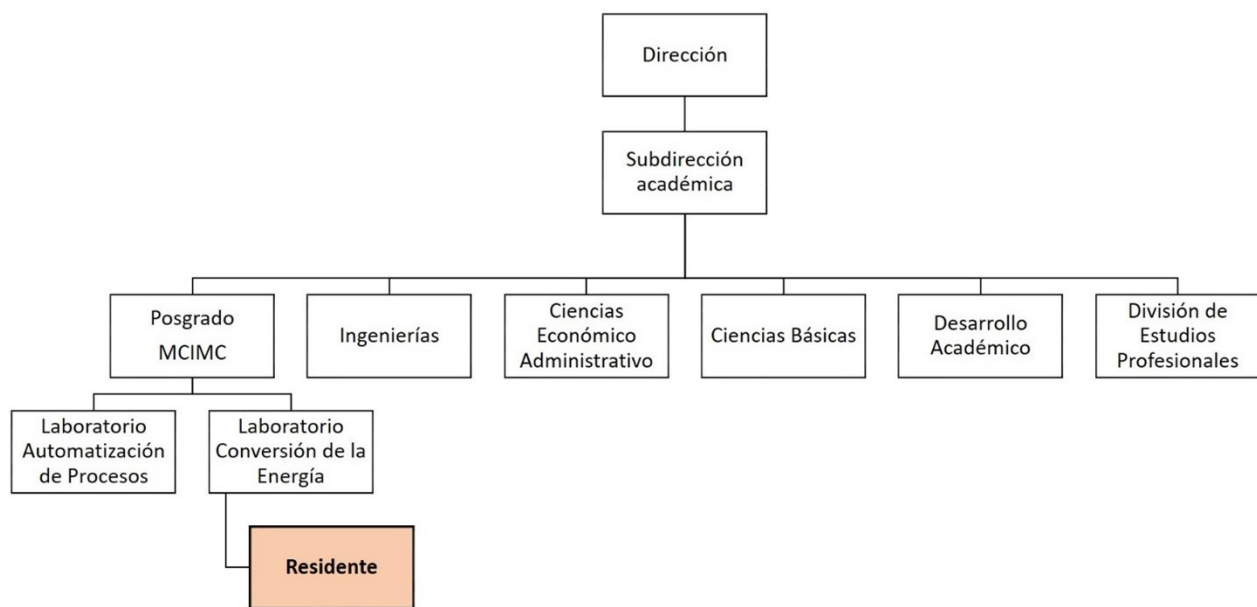
### *Valores*

A fin de guiar y orientar las acciones cotidianas de todo su personal, la institución define los siguientes valores institucionales:

- Compromiso. - lograr propósitos comunes mediante el trabajo responsable y en equipo, mejorando permanentemente el ser, hacer y tener mediante la participación activa y el liderazgo compartido.
- Responsabilidad. - decidir y actuar conforme al análisis previo de las consecuencias inmediatas o mediatas de las acciones.
- Respeto. - actitud personal y colectiva hacia la conservación, mejoramiento y protección de las diversas formas de vida, además de la aceptación de la diversidad propia de lo humano.

- Cooperación. - facilitar condiciones que allanen el trabajo de los demás, y capacitar a toda la gente para propiciar su desarrollo personal y profesional dentro y fuera de la institución.
- Honestidad. - liderazgo que toma decisiones con base en una información completa, retroalimentando directamente con resultados e impacto mutuo, dando transparencia a cada una de las acciones personales e institucionales.
- Equidad. - crear un ambiente que permita establecer un sistema de reconocimiento al esfuerzo individual y de grupo en la institución.

En la Figura 1, se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al desarrollo del proyecto.



**Figura 1.** Organigrama de la institución y del área de residencia.

### 1.3 Problema(s) a resolver

Dentro del Laboratorio de Conversión de la Energía se llevan a cabo proyectos de desarrollo tecnológico consistentes en la extrusión de plásticos de reciclaje empleando una máquina extrusora híbrida que emplea un colector solar de canal parabólico para integrar de energía solar al proceso de extrusión.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1. Diseñar, construir y programar una unidad de giro 3D con carcasa de protección, tren de transmisión y mecanismo de giro tipo engranaje helicoidal.
2. Contar con una unidad de giro de seguimiento solar de 1 eje para orientar el colector de forma tal que se mantengan los rayos solares perpendiculares sobre un receptor conforme al movimiento aparente del Sol.

Lo anterior permitiría, como trabajo a futuro, desarrollar un sistema de seguimiento solar robusto con hardware y software de mayor precisión bajo el mismo diseño propuesto.

#### **1.4 Justificación**

El aprovechamiento de los plásticos de desechos permite coadyuvar al problema de disposición final de estos contaminantes donde por ejemplo en México se producen cada año 9 mil millones de botellas de PET (SEMARNAT, 2018) y solo el 58% se ha logrado recuperar para reciclaje. Dentro de este contexto, el reciclaje de plásticos de desecho por extrusión es una alternativa de solución, sin embargo, los dispositivos de extrusión solo emplean resistencias eléctricas para alcanzar las temperaturas de operación requeridas, por lo que es un área de oportunidad utilizar la energía solar como un medio complementario de calentamiento para reducir los costos de operación por el consumo de energía eléctrica que el proceso requiere. Siendo un área de oportunidad utilizar un sistema de seguimiento solar para lograr una mayor eficiencia de la concentración de la radiación solar sobre un receptor de extrusión.

Se cuenta con un colector solar de canal parabólico por lo que se debe integrar una unidad de giro para otorgar rotación en 1 eje al colector y lograr una mayor concentración solar sobre un receptor.

El alcance del proyecto es desarrollar una unidad de giro 3D mediante un mecanismo de giro tipo engranaje helicoidal para integrarlo a un sistema de seguimiento solar para calentar un receptor de extrusión y lograr temperaturas por encima de los 100 °C.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Desarrollar una unidad de giro mediante impresión 3D y bajo una arquitectura de transmisión reductora circular con un mecanismo de giro de tipo engranaje helicoidal para su aplicación en un sistema de seguimiento solar de un colector solar de canal parabólico.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Comprender el proceso de funcionamiento de una unidad de giro de transmisión reductora circular mediante una revisión exhaustiva de la literatura para definir las características técnicas del dispositivo a desarrollar.
- Comprender el proceso de funcionamiento de un sistema de seguimiento solar mediante una revisión exhaustiva de la literatura para definir las características técnicas del dispositivo a desarrollar.
- Diseñar el cuerpo de la unidad de giro mediante software de diseño especializado CAD 3D para definir dimensiones, componentes y funcionamiento del dispositivo.
- Diseñar la instrumentación y control de la unidad de giro mediante software de automatización para generar los diagramas electrónicos del dispositivo y definir la interfaz de los arreglos y componentes electrónicos de la unidad de giro.
- Construir el cuerpo de la unidad de giro mediante impresión 3D para alojar el mecanismo mecánico del dispositivo.
- Construir el sistema mecatrónico de la unidad de giro mediante la integración de elementos de hardware y electrónica modular para desarrollar el sistema de control del dispositivo.
- Elaborar el algoritmo de control mediante lenguaje de programación aplicable a la tarjeta de adquisición de datos empleada para la ejecución de funciones en tiempo real para controlar la unidad de giro.
- Realizar pruebas preliminares de funcionamiento mediante un diseño experimental simple para validar la operatividad de la unidad de giro.

## **1.6 Alcances y limitaciones**

- Proyecto de investigación a nivel laboratorio.
- El desarrollo de un colector solar de canal parabólico empleado para las pruebas de funcionalidad de la unidad de giro no es presentado.
- El desarrollo de un sistema mecatrónico empleado para las pruebas de funcionalidad de la unidad de giro no es presentado por lo que también esta fuera de alcance la optimización del algoritmo de control; únicamente se presenta el diagrama electrónico del sistema de control.
- Solo 1 diseño de unidad de giro fue desarrollado.
- Por cuestiones de patentado, solo se presentan algunos resultados.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar se crea mediante la fusión nuclear que tiene lugar en el sol. La fusión ocurre cuando los protones de los átomos de hidrógeno chocan violentamente en el núcleo del sol y se fusionan para crear un átomo de helio. Este proceso, conocido como reacción en cadena PP (protón-protón), emite una enorme cantidad de energía. En su núcleo, el sol fusiona alrededor de 620 millones de toneladas métricas de hidrógeno cada segundo. La reacción en cadena PP ocurre en otras estrellas que tienen aproximadamente el tamaño de nuestro sol y les proporciona energía y calor continuos. La energía solar es un recurso renovable y muchas tecnologías pueden aprovecharla directamente para su uso en hogares, empresas, escuelas y hospitales. Algunas tecnologías de energía solar incluyen células y paneles fotovoltaicos, energía solar concentrada y arquitectura solar [1].



*Figura 2. Aprovechamiento de la energía solar [2].*

Existen diferentes formas de capturar la radiación solar y convertirla en energía utilizable. Los métodos utilizan energía solar activa o energía solar pasiva. Las tecnologías solares activas utilizan dispositivos eléctricos o mecánicos para convertir activamente la energía solar en otra forma de energía, generalmente calor o electricidad.

Las tecnologías solares pasivas no utilizan ningún dispositivo externo. En cambio, aprovechan el clima local para calentar las estructuras durante el invierno y reflejar el calor durante el verano [2]. A lo largo del día, la energía solar forma parte del proceso de convección térmica, o el movimiento del calor de un espacio más cálido a uno más frío. Cuando sale el sol, comienza a calentar los objetos y materiales de la Tierra. A lo largo del día, estos materiales absorben el calor de la radiación solar. Por la noche, cuando el sol se pone y la atmósfera se ha enfriado, los materiales liberan su calor a la atmósfera. Las casas y otros edificios utilizan energía solar pasiva para distribuir el calor de manera eficiente y económica. Calcular la “masa térmica” de un edificio es un ejemplo de esto. La masa térmica de un edificio es la mayor parte del material calentado durante el día. Ejemplos de masa térmica de un edificio son la madera, el metal, el hormigón, la arcilla, la piedra o el barro. Por la noche, la masa térmica devuelve su calor a la habitación. Los sistemas de ventilación eficaces (pasillos, ventanas y conductos de aire) distribuyen el aire caliente y mantienen una temperatura interior moderada y constante [1].



*Figura 3. Arquitectura solar pasiva [1].*

## **2.2 ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA**

La tecnología de energía solar concentrada o CSP (Concentrated Solar Power) produce electricidad al concentrar los rayos del sol para calentar un medio (generalmente un líquido o gas) que luego se usa para mover una turbina de vapor o gas para impulsar un generador eléctrico. La CSP usa solo el componente



del haz de la radiación solar (radiación normal directa), por lo que su beneficio máximo tiende a estar restringido a un rango geográfico limitado. Para concentrar la radiación solar y aprovecharla como fuente de energía, existen varios tipos de sistemas en el ámbito de la energía solar concentrada. El primero de ellos es el canal parabólico, que consiste en largas filas de reflectores parabólicos. Estos reflectores concentran la luz solar de 70 a 100 veces en un elemento colector de calor situado a lo largo de la línea focal del reflector. Estos canales parabólicos siguen la trayectoria del sol alrededor de un eje, comúnmente orientado de norte a sur. Otro enfoque es el uso de reflectores lineales de Fresnel. La ventaja de estos reflectores radica en que los costes de instalación por metro cuadrado pueden ser más bajos que los de los canales parabólicos, y, además, el receptor permanece fijo. Aunque esta alternativa ofrece costos más accesibles, su rendimiento óptico anual es inferior en comparación con un reflector de canal. Sales fundidas, como nitratos alcalinos, para almacenar el calor y generar electricidad durante hasta 15 horas sin radiación solar [3].

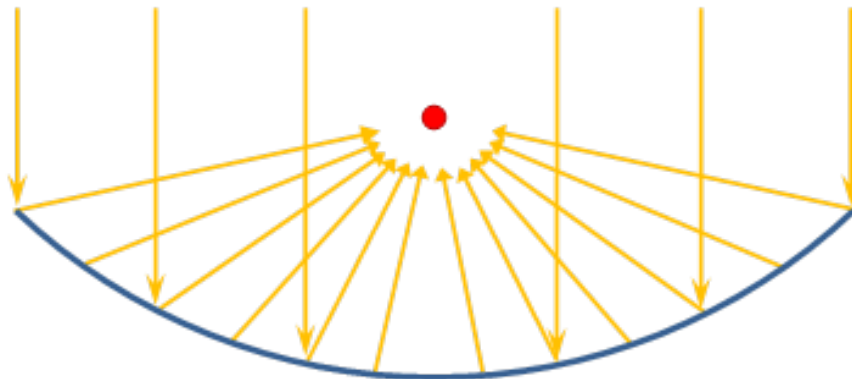


*Figura 4. Paneles de energía solar térmica concentrada [4].*

### **2.3 CONCENTRADORES SOLARES DE CANAL PARABÓLICO**

Un colector solar cilíndrico parabólico (CCP) está compuesto por un canal cuyo perfil tiene forma de parábola. Esta geometría permite que la radiación solar que incide paralela al eje focal de la parábola se concentre en el foco de la misma. El foco de la parábola se extiende como una línea focal a lo largo de todo el canal. Sobre esta línea

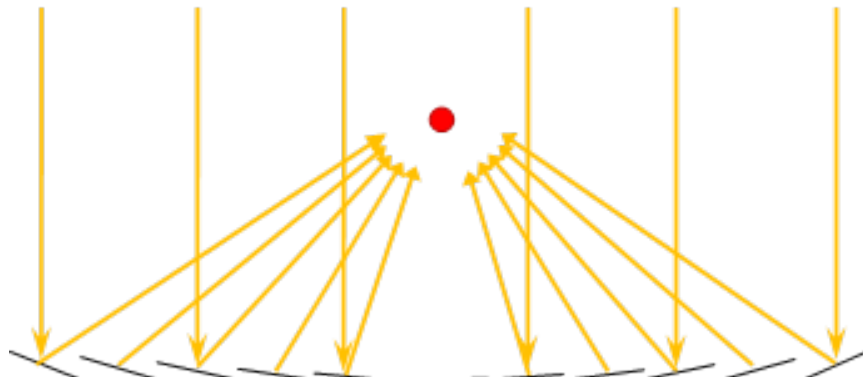
se coloca un tubo receptor que contiene un fluido térmico (generalmente aceite) que se calienta cuando el tubo absorbe la radiación solar. Estos sistemas suelen trabajar por encima de los 100°C, y pueden acoplarse a un ciclo Rankine de agua vapor para producir electricidad. El sistema en su conjunto tiene 3 componentes: el sistema de concentración, el generador de vapor, y el sistema de potencia. Actualmente, el mayor complejo comercial que opera en el mundo se encuentra en el desierto de Mohave en Kramer Junction (California, USA). Y está constituido por 8 plantas CCP, con una capacidad instalada de 340 MWe. Sin embargo, el costo de la electricidad producida en este tipo de plantas aun es demasiado alto para lograr una expansión comercial. La electricidad obtenida de esta manera resulta poco competitiva frente a las centrales eléctricas convencionales. Es necesario usar estrategias gubernamentales o políticas como la asignación de subsidios a la producción o bien incentivos fiscales a la inversión para lograr crear un mercado que pueda abaratar los altos costos iniciales de instalación [6].



**Figura 5.** Esquema de funcionamiento de un concentrador de canal parabólico [5].

Otra opción, a las plantas CCP, son los concentradores de Fresnel, que representan una aproximación de un canal parabólico. Este tipo de concentradores pueden considerarse como un particionamiento de un perfil parabólico y los segmentos son colocados en una superficie plana. La idea es lograr mantener fija la zona focal del concentrador y, a cambio de ello, los delgados segmentos del concentrador redireccionan la radiación solar a la zona focal del sistema. Entre las ventajas de este sistema puede mencionarse que: los motores y el sistema mecánico y estructural es más barato que en el caso de un canal parabólico convencional. Por otro lado, si los segmentos son

suficientemente delgados, pueden ser aproximados por segmentos planos en lugar de tener curvatura, esto hace aún más barata su construcción. Por otro lado, el diseño estructural es más económico por estar a nivel del suelo y se aprovecha mejor la superficie, al poder colocarse uno tras otro sin sombreados entre varios sistemas. La primera planta comercial de esta tecnología es de 1.4 MWe, de la empresa Novatec-Biosol, y entró en operación en 2009. Otra planta comercial, de 10 MWe, se está desarrollando en Gotarrendura, España, por la empresa alemana Solar Power Group. El diseño de esta última, se realizó en base al trabajo desarrollado con el prototipo Solarmundo que fue probado exitosamente en Lieja, Bélgica [5].



*Figura 6. Esquema de funcionamiento de un concentrador de Fresnel [5].*

## **2.4 SEGUIDORES SOLARES (SOLAR TRACKER)**

El funcionamiento de los seguidores solares es simple y eficiente. Los paneles permanecen siempre perpendiculares a los rayos del sol para maximizar la producción de energía. Para que esto sea posible, los módulos fotovoltaicos se instalan sobre una estructura que les permite girar con precisión y seguir la trayectoria del sol a lo largo del día. Cuanto más óptimo es el ángulo de incidencia, mayor es la cantidad de energía producida. Para asegurar una captación óptima de rayos solares, se emplean avanzados sensores y procesadores equipados con algoritmos que permiten el seguimiento solar en tiempo real durante todas las horas del día. Existen dos tipos de seguidores solares: los seguidores de 1 eje y los seguidores de 2 ejes, cada uno con características y ventajas únicas. El seguidor solar de 1 eje permite el movimiento de las placas fotovoltaicas en una dirección, de este a oeste, siguiendo la trayectoria del sol desde su nacimiento hasta

su ocaso. Esta efectiva función permite un aumento significativo en la captación de energía solar a lo largo del día. Por otro lado, el seguidor solar de 2 ejes se mueve en dos direcciones, tanto de este a oeste como de norte a sur, lo que permite realizar un seguimiento muy preciso del sol durante todo el año. Esta capacidad de adaptarse a las estaciones del año optimiza la producción de energía solar, asegurando un rendimiento constante y confiable en cualquier clima. Ambos tipos de seguidores son herramientas clave en la maximización de la eficiencia de los sistemas solares, ofreciendo soluciones adaptadas a diversas necesidades y condiciones ambientales [6].



**Figura 7.** Planta de solar trackers [7].

Este tipo de dispositivos controla el seguimiento de paneles solares en seguidores solares o sistemas similares en función de la posición del sol a través de datos astronómicos. Este seguimiento se realiza de forma uniaxial en el plano horizontal utilizando datos de elevación y azimut del sol. Para evitar el sombreado de los paneles solares entre sí, se implementa una función que evita esta formación de sombras mediante una corrección de ángulo. Durante el día, el rastreador se mueve de este a oeste. Después de la puesta del sol, el rastreador se vuelve a encender por la noche. El control se basa en las coordenadas geográficas y el tiempo. El ajuste del ángulo del seguidor se realiza según la variante en función de su velocidad (control de tiempo sin codificador rotatorio) o mediante un codificador rotativo absoluto. Se proporcionan dos interruptores de límite para limitar la rotación y para la sincronización. Se implementan dos salidas de relé, cada una girando hacia el oeste y hacia el este, para el control del motor. Después de un corte de energía, el control del seguidor mueve inmediatamente el

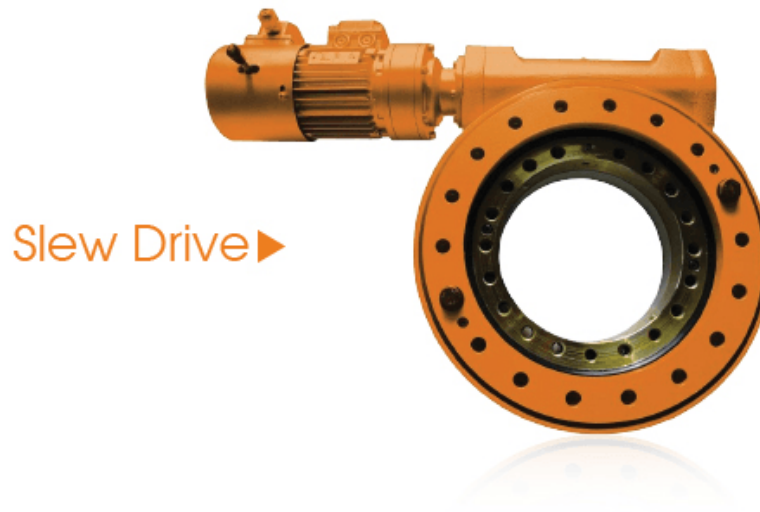
seguidor solar a la posición actual en el sol. Todo lo que necesita es la tensión de red necesaria, un circuito de protección de inversión y un motor trifásico con caja de cambios. Se instala un interruptor de límite en las direcciones este y oeste. No necesita un codificador de ángulo caro para esto [6].



*Figura 8. Paneles de energía solar de seguimiento [6].*

## **2.5 SLEWING DRIVES Y SUS APLICACIONES**

Los accionamientos de giro (Slewing Drives) son cajas de cambios con la capacidad de manejar cargas radiales y axiales y ofrecer un alto par de rotación. Estos mecanismos generan un movimiento de rotación a lo largo de un solo eje o de múltiples ejes combinados. Una caja de cambios terminada se ensambla a partir de sellos, cojinetes, carcasas, engranajes, motores y otros componentes fabricados. Los accionamientos de giro funcionan bien en aplicaciones que requieren un par elevado suministrado a velocidades reducidas. Proporcionan una precisión superior en el posicionamiento y el movimiento giratorio debido a su cero retroceso y al suave funcionamiento de los componentes. Estos dispositivos mecánicos son ideales para aplicaciones como grúas, satélites, rastreadores de radar, equipos de herramientas petroleras y diversos campos que dependen de una funcionalidad similar. Están fabricados de bronce fosforoso y acero o materiales con propiedades de desgaste y deformación relacionadas. Los accionamientos giratorios cuentan con carcasas que brindan protección contra factores ambientales, incluidos la suciedad, el polvo y el agua.



**Figura 9.** *Slewing Drive* [8].

Los accionamientos de giro dependen de la tecnología de engranajes helicoidales, en la que un tornillo sin fin montado horizontalmente actúa como impulsor del engranaje. A medida que gira el tornillo horizontal, hace girar el engranaje alrededor del eje orientado perpendicularmente al eje del tornillo. Como resultado, la velocidad del engranaje se reduce mientras que el par se multiplica proporcionalmente. El número de roscas helicoidales y dientes de engranaje determina la relación de velocidad aplicable. El mecanismo de reloj de arena se asemeja a la tecnología tradicional de engranaje helicoidal y ofrece una mejora en la funcionalidad del engranaje. En lugar de depender de un único punto de contacto como ocurre con los modelos tradicionales, el perfil del tornillo sin fin en forma de reloj de arena permite que hasta 11 dientes del engranaje entren en contacto con el eje del tornillo sin fin. La capacidad de acoplar varios dientes a la vez hace que las unidades de giro con forma de reloj de arena sean duraderas, más fuertes y más eficientes [8].



**Figura 10.** *Slewing Drive [9].*

La capacidad de un mecanismo de giro para manejar cargas variables y proporcionar fuerza de par rotacional lo hace adecuado para una amplia gama de aplicaciones. En el corte y conformado de metales, por ejemplo, estas aplicaciones requieren total precisión en el posicionamiento de las piezas de trabajo, y las unidades de giro con opción de juego reducido ofrecen resultados de alta precisión en diferentes condiciones. En el ámbito de la minería, los mecanismos de accionamiento de giro son ideales para aplicaciones que demandan una capacidad de par máxima junto con resistencia a cargas de impacto. También ofrecen una reducción de proporciones y presentan un perfil lo suficientemente bajo como para admitir una amplia selección de equipos de minería. En la construcción, los accionamientos de giro son utilizados en sistemas que proporcionan energía a equipos sujetos a cargas pesadas de funcionamiento variable. Su capacidad para producir un par elevado y un funcionamiento suave en espacios limitados los hace apropiados para este campo. Las áreas de construcción abarrotadas son típicas con equipos como cabrestantes, polipastos y grúas. En el ámbito de la impresión, los rodillos de la imprenta necesitan mantener un registro de impresión preciso a máxima velocidad. Un mecanismo de giro permite cambios rápidos en la velocidad de funcionamiento, y los variadores compactos con baja inercia funcionan mejor cuando se requiere un arranque y parada rápidos que los dispositivos

con engranajes más pesados y con múltiples etapas. Además, existen aplicaciones adicionales que incluyen unidades de giro, como seguidores solares, el manejo de cargas en ascensores para automóviles, torres de perforación, manipuladores telescópicos, equipos militares, equipo de perforación, grúas, antenas parabólicas y de radar, equipo utilitario, papel, plástico, herramientas petroleras, equipos de embalaje y equipos de producción de hierro y acero, así como manipuladores de neumáticos [8].



**Figura 11.** *Aplicaciones del Slewing Drive [9].*



### III. DESARROLLO

#### 3.1 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

La meta del presente estudio es lograr el diseño, construcción y programación de una unidad de giro “slewing drive” en impresión 3D pero de bajo costo en comparación con los equipos comerciales. El principio de funcionamiento de este tipo de dispositivos es lograr el movimiento circular de un eje giratorio axial o radial con un posicionamiento preciso y una precisión de rotación acorde a las necesidades de su aplicación final.



**Figura 12.** Slewing drive comercial (propiedad de CIO, A.C. Unidad Aguascalientes).

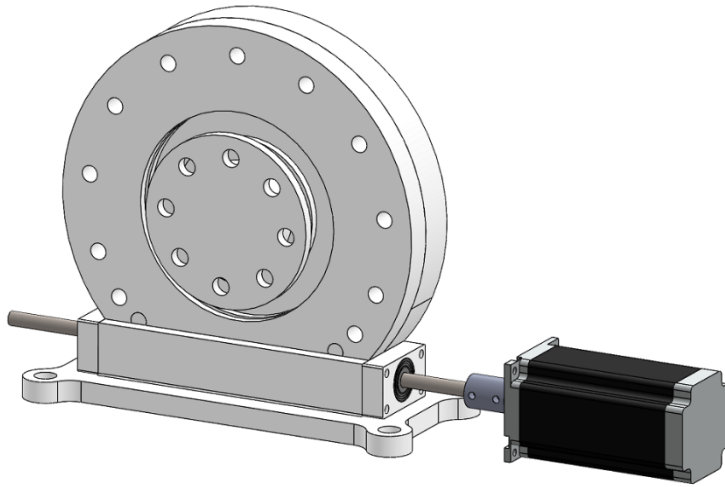


**Figura 13.** Slewing drive comercial (propiedad de CIO, A.C. Unidad Aguascalientes).

### 3.1.1 Diseño de la unidad de giro

Todos los diseños mecánicos se elaboraron empleando el software CAD SolidWorks versión 2020. Los diseños de la unidad de giro permitieron validar dimensiones, materiales y funcionamiento del sistema previo a su construcción.

Únicamente se presentan los diseños en vistas isométricas sin dimensiones por cuestiones de patentado.



*Figura 14. Diseño final de la unidad de giro de estudio.*

### 3.1.2 Construcción de la unidad de giro

La unidad de giro horizontal fue fabricada mediante impresión 3D con material ABS, empleando una impresora MakerBot 3D Replicator 2x y, cuenta con un mecanismo de giro de tipo engranaje helicoidal. La unidad está conformada bajo una arquitectura de transmisión reductora circular de giro compuesta por carcasa, corona de giro con adaptador de sujeción y un tornillo sin fin.

La unidad de giro se comunica con el colector solar de canal parabólico por medio de un disco metálico de giro perforado. El movimiento de giro (en sentido horario o antihorario) de la unidad de giro se realiza por medio de un motor NEMA 23 OK57H18112A 4.2A 3Nm según las señales emitidas por el sistema de seguimiento solar empleado (no presentado).



*Figura 15. Impresora Makerbot 3D Replicator 2x [10].*

### **3.1.3 Pruebas de funcionamiento**

Para probar la funcionalidad de la unidad de giro se construyó un dispositivo de concentración solar consistente en un colector solar de canal parabólico con un receptor (barra de acero perforada) colocado en el foco de la parábola (metodología de construcción del colector no presentado).

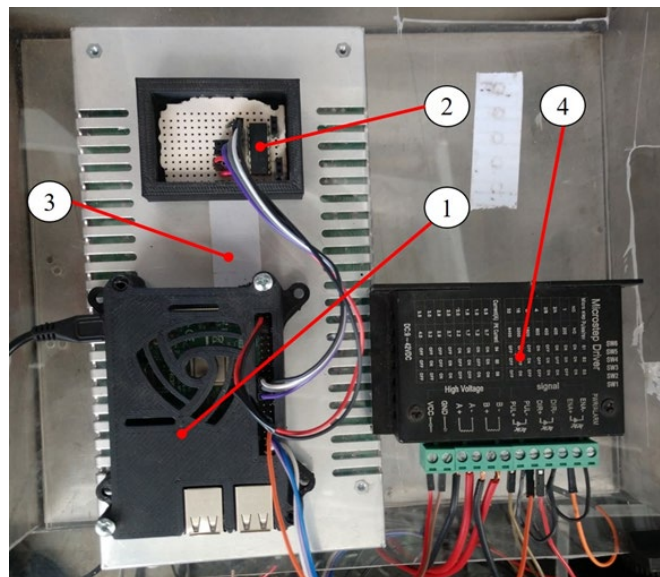
El movimiento de rotación de la unidad de giro es controlado por medio de un sistema mecatrónico desarrollado para este estudio (sistema mecatrónico no presentado). El sistema mecatrónico y el algoritmo de control (algoritmo no presentado) activan de manera manual el sentido de giro del actuador NEMA 23 empleado y cuidando que el foco de la parábola y los rayos solares se mantengan todo el tiempo sobre el receptor logrando incrementar su temperatura.

Para las pruebas de funcionamiento no se empleó diseño experimental alguno; simplemente se colocó la unidad de giro con el colector solar en funcionamiento y registrando las temperaturas (por medio de una cámara térmica de infrarrojos marca Flir E60) alcanzadas sobre el receptor con la sola acción de la radiación solar concentrada sobre él.

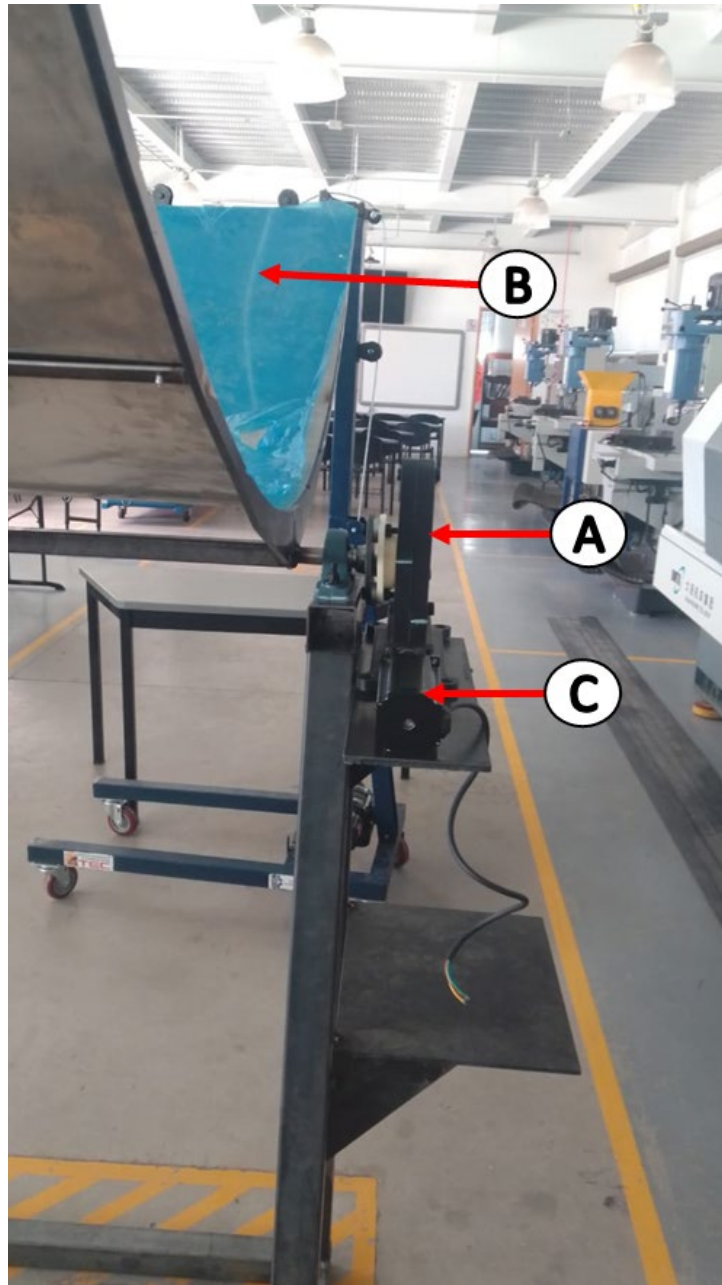
El receptor se instaló dentro de la geometría y estructura de soporte de una máquina extrusora híbrida de plásticos de reciclaje ya disponible (máquina no presentada).



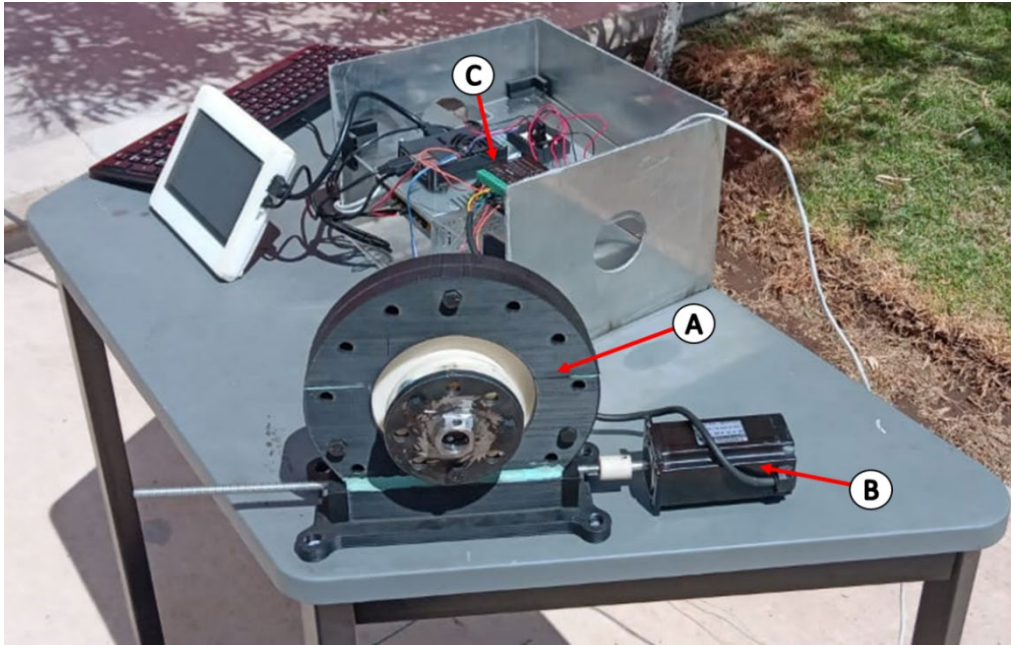
**Figura 16.** Colector solar de canal parabólico de estudio.



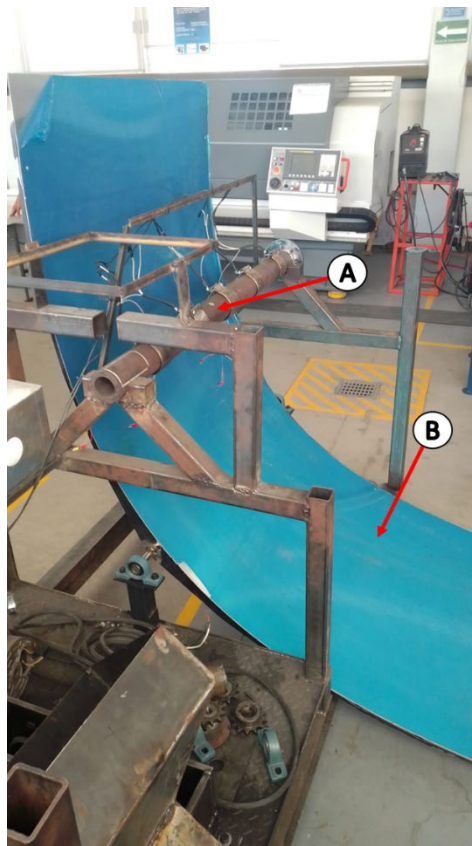
**Figura 17.** Sistema mecatrónico de control de rotación de la unidad de giro: (1) tarjeta controladora, (2) convertidor análogo, (3) fuente de alimentación, (4) drive controlador de motor a pasos (tomada de [11]).



**Figura 18.** Premontaje de la unidad de giro (A) comunicada al colector solar de canal parabólico (B) y motor NEMA 23 (C).



**Figura 19.** Ensamble de control de unidad de giro (A) comunicada al actuador (B) y al sistema mecatrónico (C).



**Figura 20.** Receptor (A) de estudio integrado en una estructura de soporte con el colector solar de canal parabólico (B).

### 3.2 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividades	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Revisión bibliográfica										
Diseños mecánicos de la unidad de giro										
Construcción de la unidad de giro										
Integración de sistema completo										
Pruebas experimentales solares										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

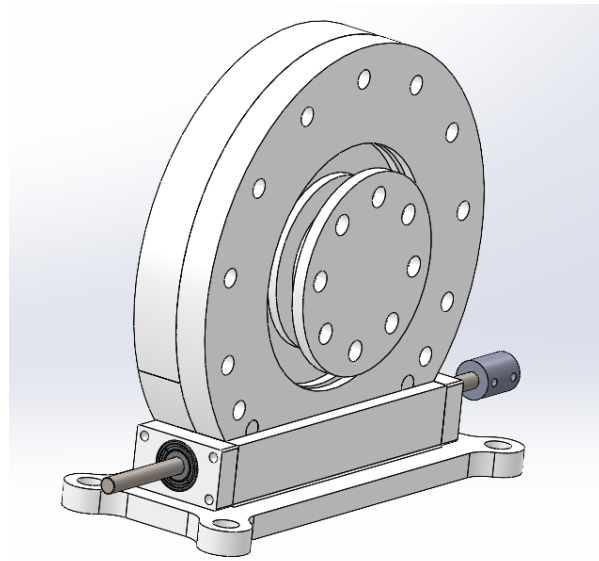
*Figura 21. Cronograma de actividades general.*

## IV. RESULTADOS

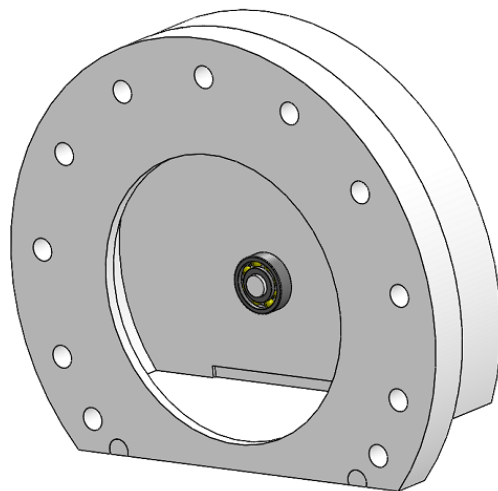
Por cuestiones de patentado, solo se presentan algunos resultados.

### 4.1 DISEÑOS DE LA UNIDAD DE GIRO

Se presentan vistas isométricas diversas de los diseños CAD 3D de la unidad e giro. Por cuestiones de patentado no se describen las dimensiones de las piezas.

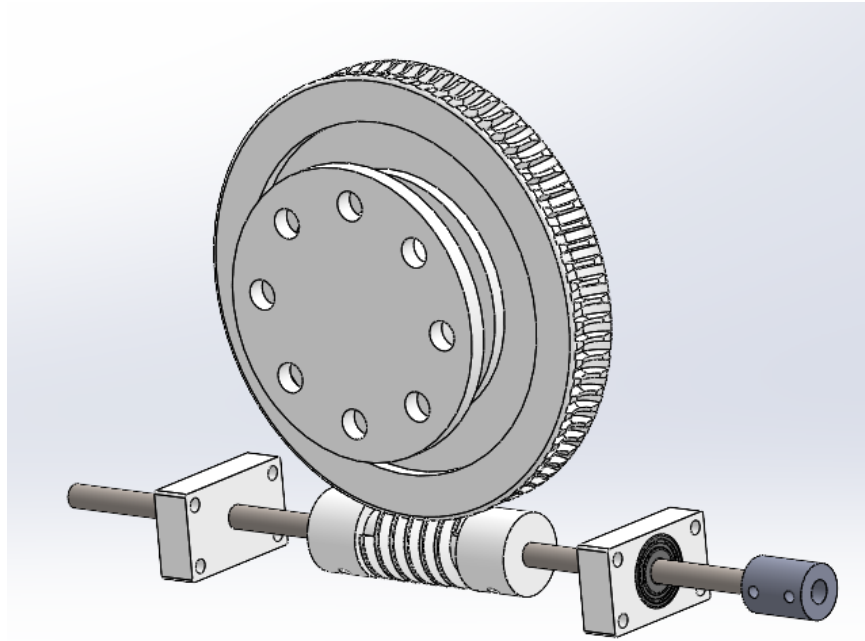


*Figura 22. Vista en perspectiva del slewing drive completo.*

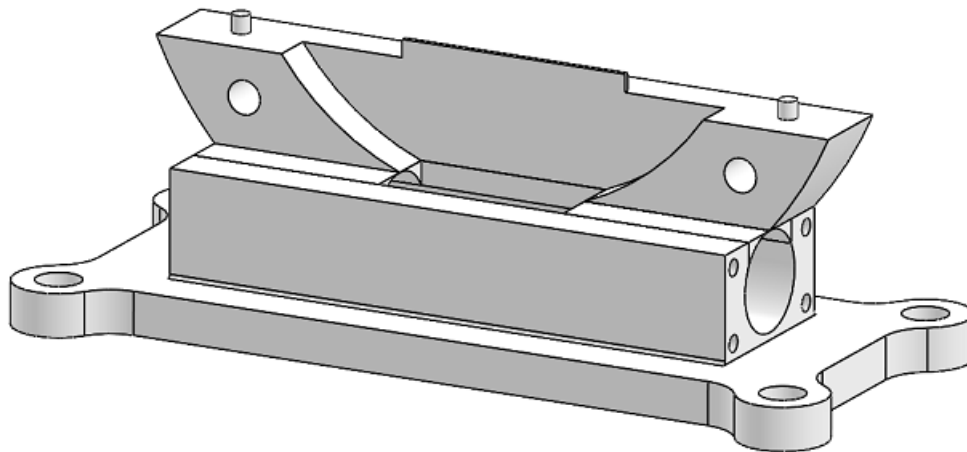


*Figura 23. Vista en perspectiva de la carcasa.*

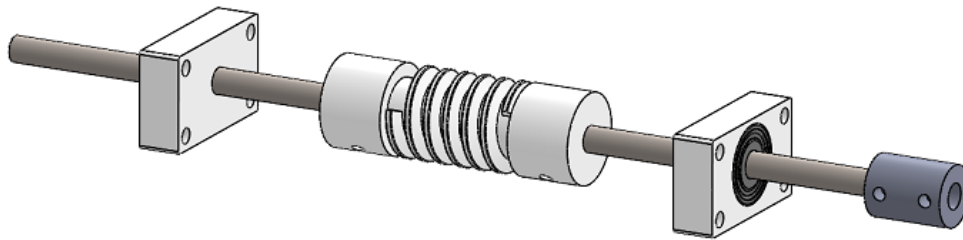




**Figura 24.** Vista en perspectiva de la corona de giro y el tornillo sin fin.



**Figura 25.** Vista en perspectiva de la base de la carcasa.



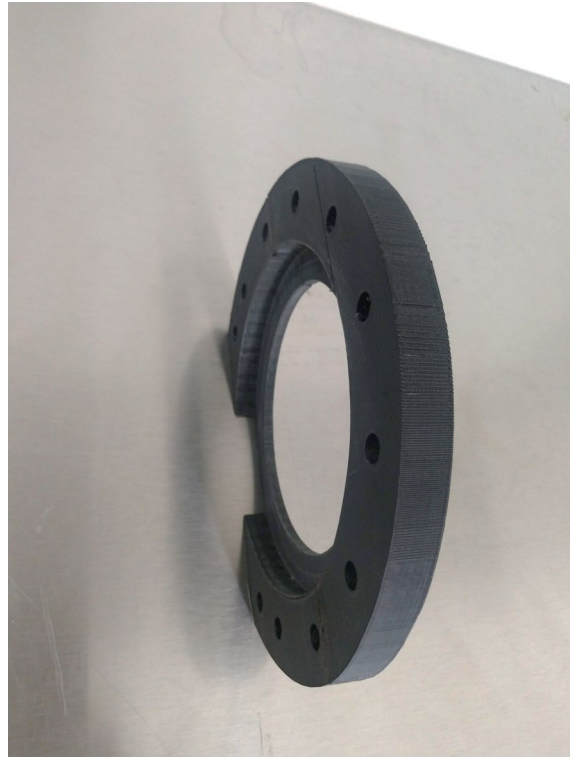
**Figura 26.** Vista en perspectiva del tornillo sin fin.

#### **4.2 MANUFACTURA DE LA UNIDAD DE GIRO**

Se presentan vistas de las piezas de la unidad de giro impresas en 3D con material ABS. La unidad está conformada bajo una arquitectura de transmisión reductora circular de giro compuesta por carcasa, corona de giro con adaptador de sujeción y un tornillo sin fin.



**Figura 27.** Vista en perspectiva de la base y tapa trasera de la carcasa de la unidad de giro.



**Figura 28.** Vista superior de la tapa frontal de la carcasa de la unidad de giro.



**Figura 29.** Vista superior de la corona de giro de la unidad de giro.



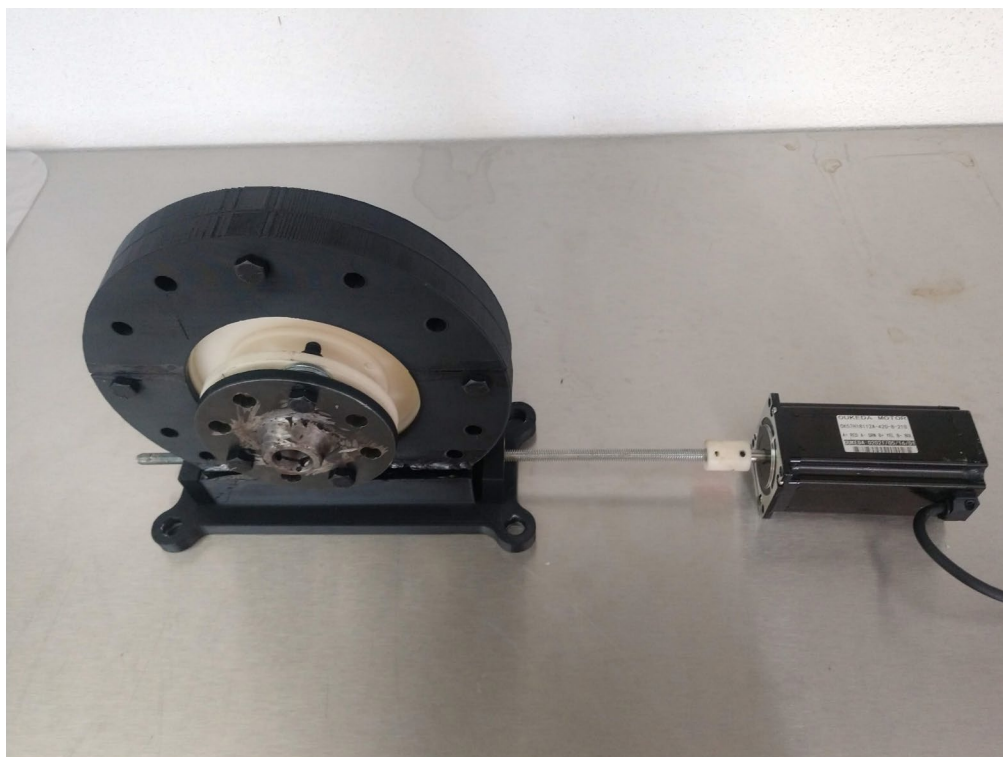
**Figura 30.** Vista superior del adaptador metálico de sujeción.



**Figura 31.** Vista del tornillo sin fin.



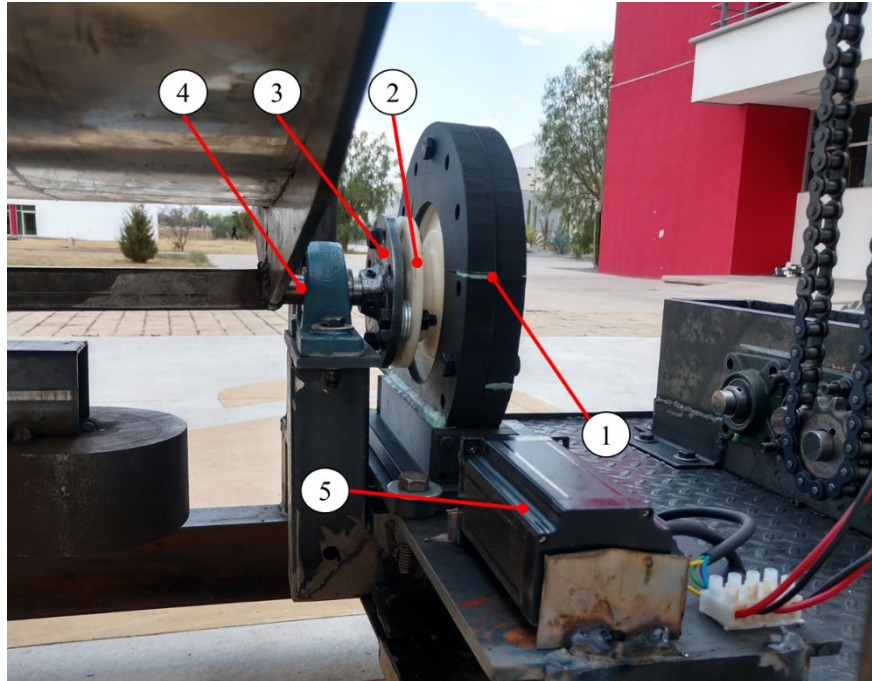
**Figura 32.** Vista del tornillo situado en la base de la carcasa.



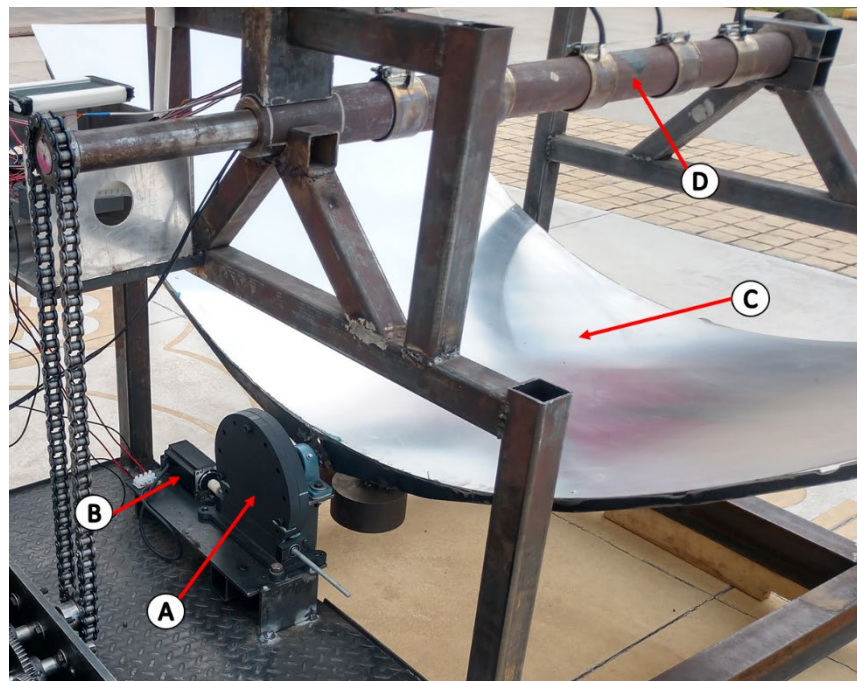
*Figura 33. Sistema completo integrado: unidad de giro y motor NEMA.*

#### **4.3 INTEGRACIÓN DE LA UNIDAD DE GIRO AL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR PROPUESTO**

Mediante un disco metálico perforado se integro la unidad de giro al colector solar de canal parabólico para el desarrollo de pruebas de calentamiento del receptor por solo la acción de la energía solar.



**Figura 34.** Unidad de giro horizontal acoplada al eje de giro del colector: 1. Carcasa. 2. Adaptador de sujeción de la corona de giro. 3. Disco de giro perforado. 4. Eje de giro de parábola. 5. Motor NEMA.



**Figura 35.** Unidad de giro horizontal acoplada al eje de giro del colector: A. Unidad de giro. B. Motor NEMA. C. Colector solar de canal parabólico. D. Receptor.

#### 4.4 DIAGRAMA ELECTRÓNICO DE MOVIMIENTO DE LA UNIDAD DE GIRO

Esta fuera de alcance del presente estudio, el presentar la metodología de programación del sistema mecatrónico desarrollado para el control de rotación de la unidad de giro; únicamente se presenta el diagrama electrónico del sistema para ejemplificar la comunicación entre los elementos de electrónica modular empleados. Tampoco se presenta el algoritmo de control diseñado.

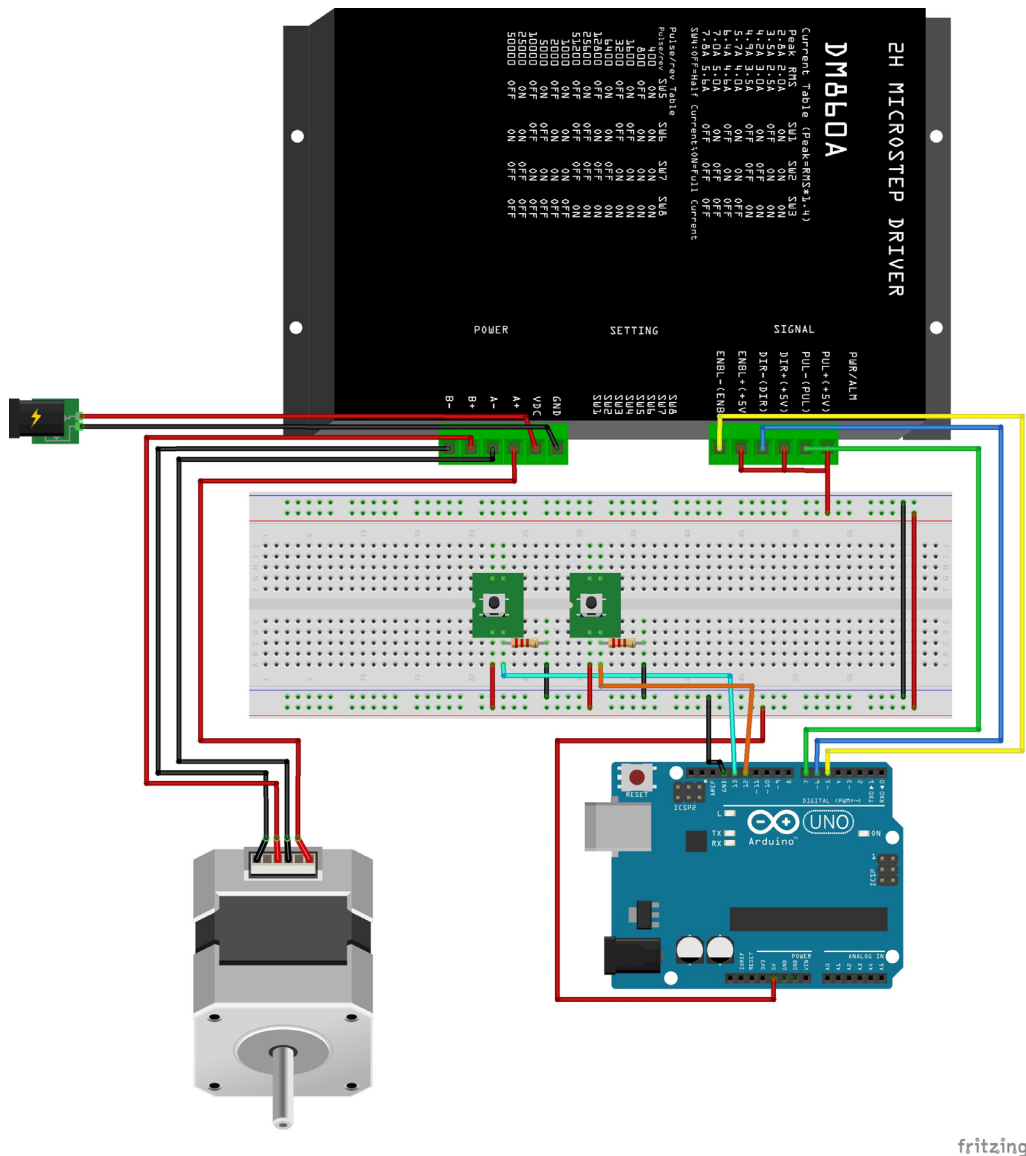
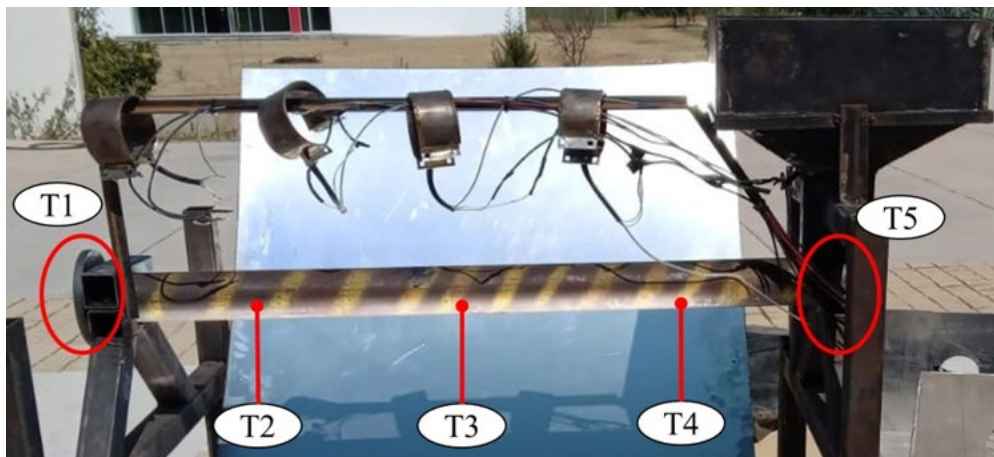


Figura 36. Diagrama electrónico de control de la unidad de giro

#### 4.5 OPERACIÓN DE LA UNIDAD DE GIRO: TEMPERATURAS ALCANZADAS EN EL RECEPTOR

Se realizaron pruebas de funcionamiento de la unidad de giro integrada al sistema de seguimiento solar (colector solar de canal parabólico y receptor) y se registraron las temperaturas que alcanzó el receptor considerado. El movimiento de la unidad de giro se realizó de manera manual a través de la programación del sistema mecatrónico empleado para este estudio.

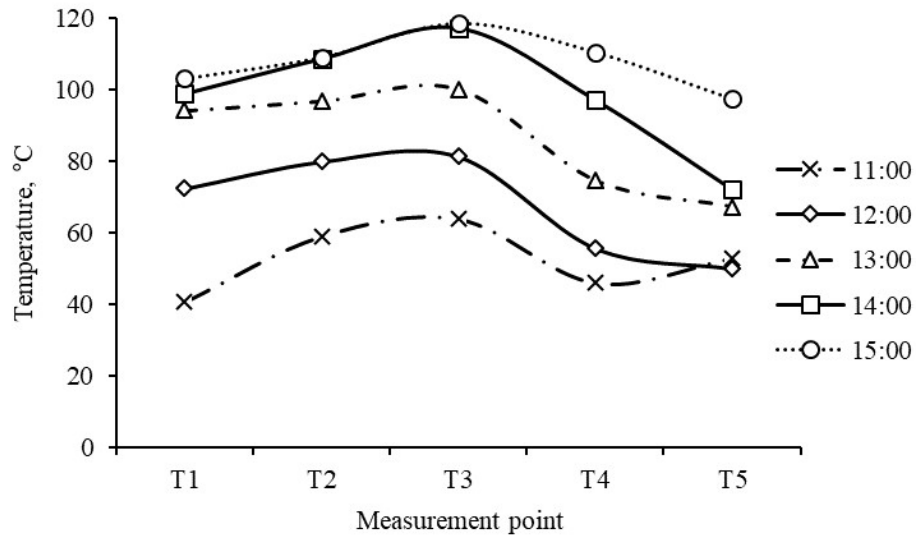
En la Figura 150, se muestran los puntos de medición de temperaturas que fueron seleccionados.



**Figura 37.** Puntos de medición de la pruebas de funcionamiento de la unidad de giro.

La unidad de giro y demás componentes se colocaron bajo el Sol. Bajo la modalidad de funcionamiento manual y utilizando la unidad de giro, se colocaba el foco del colector solar de canal parabólico sobre el receptor. Con el control de rotación y de la propia unidad de giro, se registraron temperaturas cercanas a los 90 y 120 °C en el interior y exterior del receptor. En la Figura 160, se presentan las temperaturas alcanzadas (para los 5 puntos de medición fijados) en el periodo de las 11:00 a las 15:00 horas (se presentan las lecturas de cada hora). A las 14:00 y 15:00 horas se presentan los valores caloríficos de mayor magnitud logrados.





**Figura 38.** Temperaturas logradas en el receptor con la acción de la unidad de giro manteniendo los rayos solares concentrados sobre el receptor según el movimiento aparente del Sol. T1 y T5 son en el interior del receptor; T2, T3 y T4 lecturas sobre la superficie externa del receptor.

## V. CONCLUSIONES

La aplicación de las estrategias académicas seleccionadas en conjunto con las actividades relacionadas con el presente proyecto permitió alcanzar los objetivos planteados.

Se logró diseñar, construir y programar una unidad de giro 3D, la cual se integro a un colector solar de canal parabólico y a un sistema de seguimiento solar empleados para este estudio. En particular, la unidad de giro –bajo las señales del sistema de seguimiento solar– lograron controlar el movimiento de giro de 1 eje del colector solar de canal parabólico, el cual concentra los rayos solares sobre el receptor seleccionado e incrementar su temperatura. Con la unidad de giro y demás componentes puestos en operación en días soleados y, con solo la acción de la energía solar, se alcanzaron temperaturas máximas de 90 y 120 °C en el interior y exterior del receptor de estudio. Ninguna etapa de experimentación de extrusión fue llevada a cabo.

El proyecto de residencia me permitió validar los conceptos teóricos y prácticos aprendidos durante mi estadía como estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica en proyectos de desarrollo tecnológico a nivel prototipo. Para llevar a cabo este proyecto se pusieron en práctica los conocimientos y habilidades a lo largo de la carrera, automatización, control e instrumentación, manufactura avanzada, microcontroladores, entre otras materias importantes. También se aplicó la investigación y redacción, ya que, al ser un proyecto de esta índole, se necesitan las herramientas básicas para tener un proyecto de calidad, eficiente y eficaz a su vez. En particular aprendí a adaptarme a trabajos por objetivos. Además de siempre buscar la solución más factible mediante la aplicación de un método analítico y científico para eliminar los problemas desde raíz. Mi tiempo de residencia profesional interactuando con temas de desarrollo tecnológico, investigación e innovación fue una de las mejores experiencias profesionales que he vivido y donde aprendí lo importante que es llegar a establecer soluciones viables y resolver el problema raíz de la manera más factible.

## **VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS**

1. Aplique metodologías de la Ingeniería Mecatrónica con base en las necesidades del proyecto de desarrollo tecnológico de estudio para incrementar sus diversos indicadores de operación.
2. Aplique técnicas de automatización, control e instrumentación, además de manufactura en impresión 3D.
3. Implementé métodos innovadores de solución de problemas de tecnología a través de la automatización de procesos, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
4. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Ingeniería Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
5. Coadyuve a cumplir los retos de la institución en torno al fomento de proyectos de desarrollo tecnológico.
6. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la institución, para el estado del arte del proyecto y contar con información actualizada para la mejora de los procesos de estudio y la operación del equipo del proyecto.
7. Promoví el desarrollo de la ciencia e investigación, con el fortalecimiento de las líneas de investigación de la institución.
8. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar sistemas y/o procesos industriales.
9. Actúe como agente de cambio para facilitar la mejora continua en los procesos de aprendizaje de la carrera de Ingeniería Mecatrónica de la institución.
10. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de ejecución del proyecto.

## VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- [1] Turgeon, A., & Morse, E. (Julio 2022). Solar Energy. National Geographic; National Geographic Society. <https://education.nationalgeographic.org/resource/solar-energy/>
- [2] Energía solar: Qué es, características y ventajas principales. (s.f.). REPSOL. <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/energia-solar/index.cshtml>
- [3] Energía solar concentrada, qué es y cómo funciona. (Junio 2022). <https://www.idealista.com/news/inmobiliario/vivienda/2022/03/22/795606-como-funciona-la-energia-solar-concentrada>
- [4] Cebada, H. (Marzo 2020). Energía solar térmica concentrada, ¿y eso qué es? HUMBERTO CEBADA. <https://humbertocebadablog.wordpress.com/2020/03/06/energia-solar-termica-concentrada-y-eso-que-es/>
- [5] Canal Parabólico y Fresnel. (s.f.). Concentrationsolar.org.mx. <https://concentrationsolar.org.mx/concentracion-solar/canal-parabolico-y-fresnel#:~:text=Un%20colector%20solar%20cil%C3%ADndrico%20parab%C3%B3lico>
- [6] Seguidores solares: Qué son, tipos y ventajas. (s.f.). REPSOL. Retrieved December 11, 2023, from <https://www.repsol.com/es/energia-futuro/futuro-planeta/seguidores-solares/index.cshtml>
- [7] Solartracker. (Diciembre 2023.). [www.innotas.de](http://www.innotas.de). Recuperado de <https://www.innotas.de/es/solartracker>
- [8] Slewing drives information. (2018). Globalspec.com. [https://www.globalspec.com/learnmore/motion\\_controls/power\\_transmission\\_mechanical/slewing\\_drives](https://www.globalspec.com/learnmore/motion_controls/power_transmission_mechanical/slewing_drives)
- [9] Dual axis slew drive, solar panel slew drive, solar tracking system slew drive. (s.f.). [www.dlrtr.com](http://www.dlrtr.com). Recuperado de [http://www.dlrtr.com/Slew-drive\\_c12\\_2](http://www.dlrtr.com/Slew-drive_c12_2)
- [10] MakerBot. (s. f.). *MakerBot replicator 2x experimental 3D printer*. <https://www.makerbot.gr/shop-makerbot-products/makerbot-replicator-2x-experimental-3d-printer/>

- [11] Dena-Aguilar, J. A., Díaz-Ponce, A., Delgado-Flores, J. C., Olvera-González, E., Escalante-García, N., & Velasco-Gallardo, V. M. (2023). Design and construction of a solar electric plastic extruder machine based on a parabolic trough collector. *IEEE Access*, 11, 124570-124583. Doi: 10.1109/ACCESS.2023.3328910

## ANEXO 1

### Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO  
NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, 15/agosto/2023

Oficio No. DEPI004/2023

Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

**JULISSA ELAYNE COSME CASTORENA**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**

#### PRESENTE

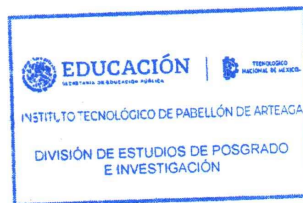
Por medio del presente se notifica que el(la) **C. JOSÉ GUADALUPE AGUAYO GUILLEN**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con número de control 191050132, ha sido aceptado(a) para realizar en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **“Desarrollo de una unidad de giro 3D para un sistema de seguimiento solar: diseño, construcción y programación”** durante el periodo de agosto-diciembre 2023, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los investigadores Víctor Manuel Herrera Ambriz (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto será realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

#### ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®  
“Tierra Siempre Fértil” ®

**EDGAR ZACARÍAS MORENO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**



ccp. Archivo

EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km. 1 C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes  
Tel. 465 958-2482 e-mail: depi\_parteaga@tecnm.mx tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx



## ANEXO 2

### Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga  
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Pabellón de Arteaga, Aguascalientes, **8/diciembre/2023**

Oficio No. DEPI029/2023

Asunto: Carta de conclusión de Residencias Profesionales

**JULISSA ELAYNE COSME CASTORENA**  
**JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN**

#### PRESENTE

Por medio del presente se notifica que el **C. JOSÉ GUADALUPE AGUAYO GUILLEN**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con número de control 191050132, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Desarrollo de una unidad de giro 3D para un sistema de seguimiento solar: diseño, construcción y programación"** durante el periodo de agosto-diciembre 2023, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 09:00 a 16:00 horas de lunes a viernes, bajo la supervisión de los investigadores Víctor Manuel Herrera Ambriz (asesor externo) y José Alonso Dena Aguilar (asesor interno). El proyecto fue realizado en el Laboratorio de Conversión de la Energía del área de Posgrado de nuestro plantel.

El presente proyecto de Residencia Profesional es producto del proyecto "Estancias Posdoctorales por México, modalidad 1, "Diseño y construcción de una máquina extrusora solar horizontal de tornillo simple con calentamiento mayor a 200 °C mediante un sistema automático de concentración solar para su implementación en la industria del reciclaje de plásticos": (1) convocatoria 2021-ID 1086950, (2) convocatoria 2022(1)-ID 2708283\_continuidad y (3) convocatoria 2022(1)\_renovación 2023.

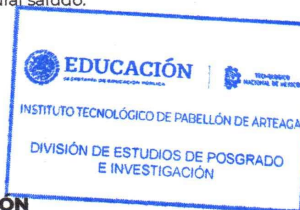
Sin otro particular por el momento, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo.

#### ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica.  
"Tierra Siempre Fértil" ®

**EDGAR ZACARÍAS MORENO**  
**JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

ccp. Archivo  
EZM/jada



Carretera a la Estación de Rincón Km. 1 C.P. 20670 Pabellón de Arteaga, Aguascalientes  
Tel. 465 958-2482 e-mail: depi\_parteaga@tecnm.mx tecnm.mx | pabellon.tecnm.mx

