



**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:  
ALDO ESTEBAN BUENROSTRO DELGADO

CARRERA:  
INGENIERÍA MECATRÓNICA

***[DESARROLLO DE UN SENSOR DE SEGUIMIENTO SOLAR A BASE DE  
FOTORRESISTENCIAS LDR: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y  
PROGRAMACIÓN]***

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



M. en C. VÍCTOR MANUEL VELASCO GALLARDO  
Asesor externo

DR. JOSÉ ALONSO DENA AGUILAR  
Asesor interno

Diciembre de 2023

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera expresar mi profundo agradecimiento a quienes han sido pilares fundamentales en mi travesía durante mi formación. En primer lugar, a mis queridos padres y hermanos, cuyo apoyo incondicional y sacrificios han sido mi motivación detrás de cada logro. Su amor y guía han sido mi mayor fortaleza.

A mis mejores amigos, quienes han estado a mi lado en cada paso de este hermoso viaje, les agradezco por su amistad leal y por ser siempre mi red de apoyo emocional. Sus palabras de aliento y momentos compartidos han iluminado incluso los días más difíciles.

Agradezco enormemente a mis respetados profesores, cuyo conocimiento y experiencia han sido fuentes invaluable de aprendizaje. Su dedicación ha dejado una huella imborrable en mi formación profesional.

Al Dr. José Alonso Dena Aguilar, agradezco su sabio liderazgo y orientación. Su mentoría ha sido fundamental para mi desarrollo profesional y personal durante este periodo.

A mis queridos compañeros de escuela, quienes han compartido conmigo momentos inolvidables, les estoy agradecido por ser una parte esencial de mi experiencia universitaria. Juntos hemos superado muchos obstáculos y hemos creando recuerdos que atesoraré siempre.

Finalmente, agradezco a Dios por cada oportunidad y desafío, por ser mi fuente de fortaleza y guía en este viaje. Su amor y dirección han sido mi luz constante. Su gracia ha sido mi faro, guiándome en este viaje.

## RESUMEN

### “DESARROLLO DE UN SENSOR DE SEGUIMIENTO SOLAR A BASE DE FOTORRESISTENCIAS LDR: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PROGRAMACIÓN”

Por: **ALDO ESTEBAN BUENROSTRO DELGADO**

Se presenta una propuesta de diseño, construcción y programación de un sensor solar a base de resistencias dependientes de la luz (LDR) alojadas dentro en una carcasa diseñada con ventanas de paso de luz solar hacia uno u otro fotorresistor según la posición aparente del Sol. El sensor 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 un drive controlador de motor a pasos y una unidad de giro “slewing drive”, los cuales conforman el modulo de operación de seguimiento solar de una máquina extrusora hibrida solar. El sensor solar se desarrollo a base de 2 LDR donde las señales se comunicaron a una tarjeta Raspberry Pi a través de diversos elementos de electrónica modular y una interfaz. Con el sensor solar de seguimiento solar puesto 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 barril de la máquina extrusora hibrida. El sistema de control (algoritmo) de seguimiento solar fue desarrollado en lenguaje de programación Phyton 3. 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 Velasco Gallardo**

**Dr. José Alonso Dena Aguilar**

# ÍNDICE

	Pág.
<b>I. GENERALIDADES DEL PROYECTO</b> .....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Descripción de la empresa 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.....	5
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	7
2.1 Energía solar.....	7
2.2 Máquinas extrusoras horizontales.....	9
2.3 Concentradores solares de canal parabólico.....	10
2.4 Sistemas de seguimiento solar (solar tracker).....	11
2.5 Sensores solares de seguimiento solar.....	14
2.6 Automatización de un sensor seguimiento solar.....	16
<b>III. DESARROLLO</b> .....	18
3.1 Procedimiento y descripción de las actividades realizadas.....	18
3.1.1 Diseño del sensor solar integrado al sistema de seguimiento solar.....	18
3.1.2 Diseño del sistema de control (algoritmo) del sensor solar y sistema de seguimiento solar.....	18
3.1.3 Pruebas experimentales.....	19
3.2 Cronograma de actividades.....	21
<b>V. RESULTADOS</b> .....	22

	Pág.
4.1 Operación del sensor solar y sistema de seguimiento solar.....	22
4.2 Sistema de control del sensor solar y del sistema de seguimiento solar..	27
4.3 Pruebas experimentales realizadas.....	29
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS.....</b>	<b>32</b>
<b>VII. FUENTES DE INFORMACIÓN.....</b>	<b>33</b>
<b>Anexo 1.</b> Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	<b>35</b>
<b>Anexo 2.</b> Carta de terminación por parte de la empresa para la residencia profesional.....	<b>36</b>

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Organigrama de la institución y del área de residencia.....	3
<b>Figura 2.</b> Energía solar.....	7
<b>Figura 3.</b> Colectores solares.....	8
<b>Figura 4.</b> Extrusora.....	9
<b>Figura 5.</b> Concentrador parabólico.....	11
<b>Figura 6.</b> Seguidor solar.....	12
<b>Figura 7.</b> Seguidor solar en un eje.....	13
<b>Figura 8.</b> Seguidor solar en dos ejes.....	13
<b>Figura 9.</b> Sistema de seguimiento solar.....	15
<b>Figura 10.</b> Panel seguidor solar.....	15
<b>Figura 11.</b> Esquema de un sistema de automatización industrial básico.....	16
<b>Figura 12.</b> Funcionamiento del seguidor solar.....	17
<b>Figura 13.</b> Sistema mecatrónico del sensor y seguimiento solar: (A) sensor solar, (B) slewing drive, (C) hardware de seguimiento solar y (D) interfaz del hardware de sistema solar.....	19

	Pág.
<b>Figura 14.</b> Sistema de control en lazo cerrado del sensor solar y sistema mecatrónico de seguimiento solar.....	20
<b>Figura 15.</b> Cronograma de actividades general.....	21
<b>Figura 16.</b> Sensor solar: (A) LDR1-derecha, (B) LDR2-izquierda.....	22
<b>Figura 17.</b> Sensor solar: carcasa y posteria.....	23
<b>Figura 18.</b> Sensor solar: vista de las ventanas de la carcasa.....	23
<b>Figura 19.</b> Sensor solar: vista interna de la carcasa del sensor solar.....	24
<b>Figura 20.</b> Sensor solar con radiación solar incidente sobre él.....	24
<b>Figura 21.</b> Sistema mecatrónico de seguimiento solar. 1a. Raspberry Pi con carcasa. 2a. MCP3008. 3a. Fuente de alimentación. 4a. Driver TB6560. 5b. Pantalla. 6b. LDR (tomada de [15]).....	25
<b>Figura 22.</b> Vista del sensor solar (A) instalado en máquina extrusora hibrida.....	26
<b>Figura 23.</b> Vista completa del sistema integrado: (A) sensor solar, (B) sistema de seguimiento solar, (C) colector solar de canal parabólico, (D) barril, (E) máquina extrusora hibrida.....	26
<b>Figura 24.</b> Interfaz de condición con motor detenido (sin rotación): Función, Track_Sol; LDR LEFT, 884; LDR RIGHT, 978; se mantiene radiación solar concentrada en el barril.....	28

	Pág.
<b>Figura 25.</b> Interfaz de condición con rotación a la izquierda (sentido anti horario): Función, Track_Sol; LDR LEFT, 1009; LDR RIGHT, 816; la rotación del motor es hacia la izquierda hasta detenerse y mantener la radiación solar concentrada en el barril.....	28
<b>Figura 26.</b> Interfaz de condición con rotación a la derecha (sentido horario): Función, Track_Sol; LDR LEFT, 942; LDR RIGHT, 1002; la rotación del motor es hacia la derecha hasta detenerse y mantener la radiación solar concentrada en el barril.....	29
<b>Figura 27.</b> Puntos de medición de la prueba de funcionamiento del sensor solar..	29
<b>Figura 28.</b> Temperaturas logradas bajo Sol, sin resistencias colocadas y sin el husillo puesto. T1 y T5 son en el interior del barril; T2, T3 y T4 lecturas sobre la superficie externa del barril.....	30

## **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 un sensor solar a base de fotorresistores LDR alojados en una carcasa con ventanas de paso de luz solar, el cual es integrado a un sistema de seguimiento solar de 1 eje.

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

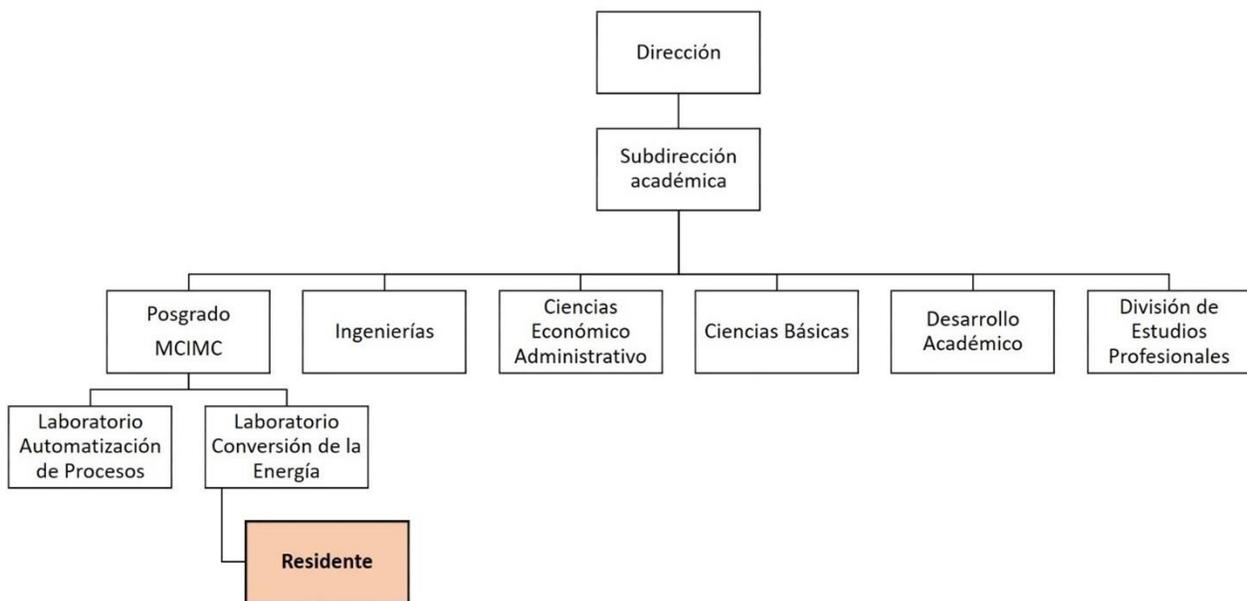
### *Valores*

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 un sensor solar a base de fotorresistencias LDR con carcasa de protección y con ventanas de paso de luz solar.
2. Contar con un sistema de seguimiento solar de 1 eje para orientar el colector de forma tal que se mantengan los rayos solares perpendiculares al barril de la máquina extrusora híbrida 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 sensor solar que oriente un sistema de seguimiento solar para lograr una mayor eficiencia de la concentración de la radiación solar sobre la extrusora.

Se cuenta con una máquina extrusora horizontal híbrida por lo que se debe integrar un sistema de seguimiento solar para lograr una mayor concentración solar sobre la extrusora.

El alcance del proyecto es desarrollar un sensor solar mediante tecnología de concentración solar con seguimiento solar para calentar la zona del cañón y husillo y lograr temperaturas internas de operación por encima de los 100 °C.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Desarrollar un sensor solar mediante fotorresistores LDR 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 un sensor solar 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 del sensor solar mediante software de diseño especializado CAD 3D para definir dimensiones, componentes y funcionamiento del dispositivo.
- Diseñar la instrumentación y control del sistema mecatrónico del sensor solar mediante software de automatización para generar los diagramas electrónicos del dispositivo y definir la interfaz de los arreglos y componentes electrónicos del sensor.
- Construir el cuerpo del sensor solar mediante impresión 3D para alojar el sistema mecatrónico del dispositivo.
- Construir el sistema mecatrónico del sensor solar 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 el sensor solar.
- Realizar pruebas preliminares de funcionamiento mediante un diseño experimental simple para validar la operatividad del sensor solar

## **1.6 Alcances y limitaciones**

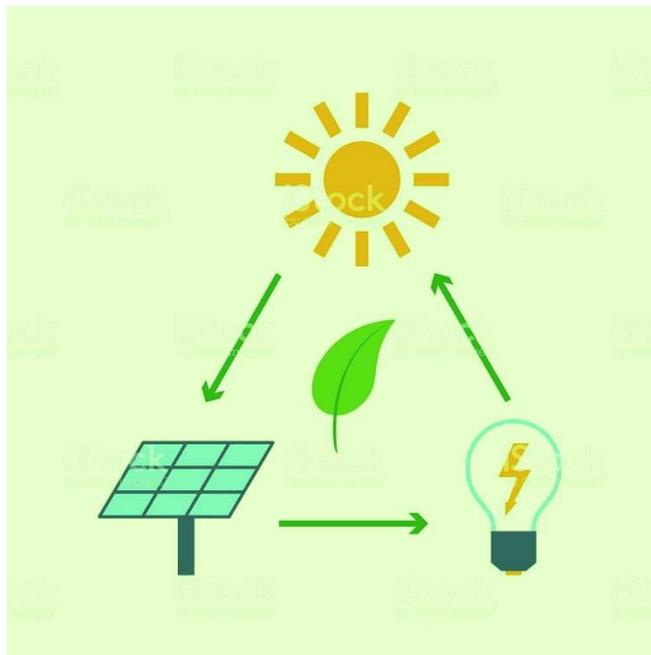
- Proyecto de investigación a nivel laboratorio.

- Esta fuera de alcance la optimización del algoritmo de control.
- Solo 1 diseño de sensor solar fue desarrollado.
- Ningún estudio de simulación y análisis óptico del sensor solar fue realizado.
- Por cuestiones de patentado, solo se presentan algunos resultados.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ENERGÍA SOLAR

La potencia solar que recibe el planeta Tierra (fuera de la atmósfera) es cerca de  $173 \times 10^{12}$  kW o una energía de  $15 \times 10^{17}$  kWh por año. Al atravesar la atmósfera, cerca de 53% de esta radiación es reflejada y absorbida por el nitrógeno, oxígeno, ozono, dióxido de carbono, vapor de agua, polvo y las nubes. Por lo tanto, al pasar esta radiación por una distancia de 150 millones de km, se reduce esta cantidad y el planeta recibe energía promedio a  $3 \times 10^{17}$  kWh al año, equivalente a 4000 veces el consumo del mundo entero en un año ( $7 \times 10^{13}$  kWh/año), lo cual nos indica la enorme potencia del Sol. Además de aprovecharla, de manera natural (vientos, evaporación de los mares para energía hidroeléctrica, fotosíntesis para la producción de biomasa, gradiente térmico de los mares, etc), la energía solar se puede convertir en energía calórica y energía eléctrica, y por lo tanto puede usarse para todos los usos donde se puede funcionar cualquier otra fuente convencional de energía [1].

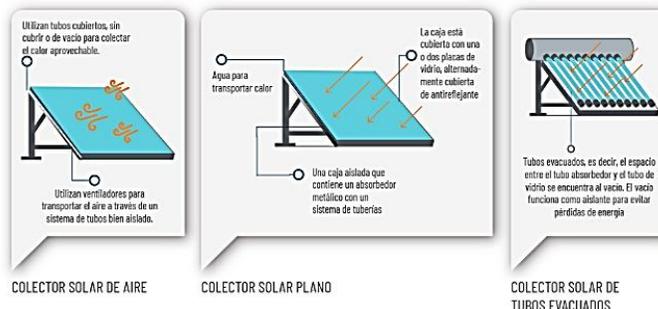


**Figura 2.** Energía solar [2].

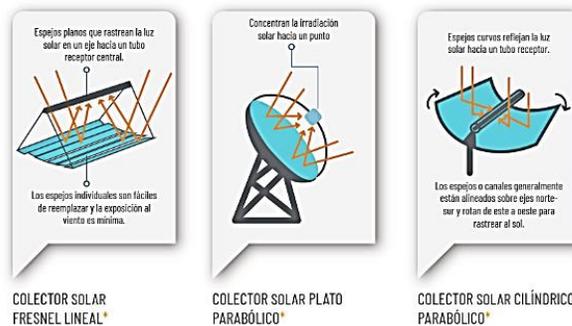
Para cualquiera de las aplicaciones de la energía solar la parte principal del sistema es el COLECTOR - el artefacto que capta energía solar y convierte en energía útil- sea en forma calórica o eléctrica. Dependiendo de aplicación todo el colector está puesto al techo del edificio o en el patio donde quiera, para recibir máxima la radiación solar. Además, es necesario evitar la presencia de obstáculos (edificaciones, árboles u otras estructuras etc.) en la línea de incidencia de los rayos solares. En relación con la ubicación de los captadores, aunque es muy recomendable que los colectores se ubiquen de manera tal que los rayos solares inciden perpendicularmente sobre ellos, pero no es siempre posible mover el colector/ captador para satisfacer esta condición. En mayorías de los casos el colector va estar fijado a una estructura. En la realidad el calor así obtenido, sea por un colector plano o por un colector concentrador, puede ser utilizado con un arreglo apropiado para varios usos [1].

## TIPOS DE COLECTORES

### DE INCLINACIÓN FIJA O AJUSTADA SEGÚN LA ESTACIÓN



### DE SEGUIMIENTO LINEAL O DE 2 EJES

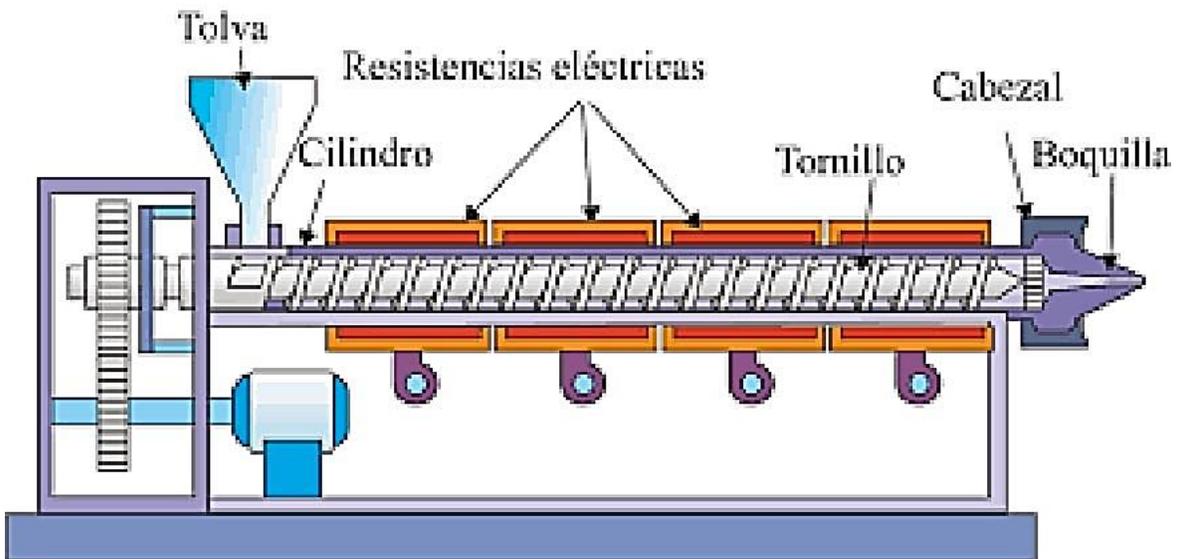


\* Se pueden obtener temperaturas de hasta 400°C y la producción directa de vapor es posible.

**Figura 3. Colectores solares [3].**

## 2.2 MÁQUINAS EXTRUSORAS HORIZONTALES

Las máquinas de extrusión poseen una tolva, a través de la cual se alimenta el material triturado o los gránulos. Este material cae por un cilindro calentado por resistencias eléctricas. En esta etapa del proceso, el material pasa por tres zonas: La alimentación, compresión y medición. En la zona de alimentación el tubo tiene surcos muy profundos, debido a que la intención es solamente calentar el material hasta un punto de fusión y transportarlo a la zona siguiente. En la zona de compresión, hay una disminución progresiva de las ranuras, mediante la compresión del material contra las paredes del cilindro lo que promueve su plastificación. Finalmente, en la zona de medición o dosificación como también es llamada, el material es empujado contra unas pantallas de acero que retienen las impurezas tales como metales y residuos de caucho, para luego pasar a una matriz en donde se formará el producto final. El sistema de extrusión genera productos sólidos debido a que el cilindro gira y envía material todo el tiempo hacia la matriz. Las piezas producidas, generalmente se enfrían en una tina con agua [4].



**Figura 4.** Extrusora [5].

## 2.3 CONCENTRADORES SOLARES DE CANAL PARABÓLICO

Un concentrador solar, es un sistema que sirve para concentrar la energía solar térmica. Estas tecnologías utilizan la reflexión de los rayos solares a través de superficies reflectantes, para así concentrarlos en un receptor de tamaño contenido [6]. Cualquier configuración general para la conversión de energía solar incluye un receptor, un dispositivo capaz de convertir la radiación solar en otro tipo de energía. Puede ser un absorbente de calor (para recolectar energía térmica) o una célula fotovoltaica (para convertir la luz en energía eléctrica). En el primer caso, la radiación térmica se absorbe para calentar un medio (fluido), que transfiere esa energía absorbida a un generador. En el segundo caso, la luz provoca un efecto fotovoltaico en el material de la célula solar, que genera corriente eléctrica. En ambas situaciones, la cantidad de energía disponible para la conversión es sólo la que suministra la fuente solar por unidad de área del convertidor [8]. Si necesitamos más energía para su uso, tenemos dos opciones. La primera opción es aumentar la escala del sistema (por ejemplo, aumentando el número de receptores). La segunda opción es concentrar el flujo de radiación. Esto se puede lograr colocando un concentrador (generalmente algún tipo de dispositivo óptico) entre la fuente de luz (sol) y el receptor. Los concentradores más habituales son los reflectores (espejos) y los refractores (lentes), que modifican y redirigen el haz de luz solar incidente. El proceso de concentración de la luz implica en primer lugar que el flujo de energía aumenta al confinarlo a un área más pequeña. Esto trae varios beneficios importantes: alcanzar temperaturas más altas para los colectores de calor, las pérdidas de calor desde la superficie del receptor disminuyen porque el área receptora disminuye, Se puede lograr una mayor tasa de conversión de energía en un área más pequeña [8]. 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 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 [7]. Estos tipos de

colectores usan en su confección materiales altamente reflectivos, tales como papel aluminio, un espejo o acero inoxidable etc. Aquí solo la componente directa de la radiación solar que cae sobre la superficie reflectora es reflejada concentrándose los rayos en un único punto (en colectores parabólicos o de tipo lupa) o en una línea (en colectores cilíndricos). En los focos se colocan un tubo metálico, la parte exterior es pintada de negro. De nuevo para disminuir la pérdida de energía, el tubo negro ésta rodeado por un cobertor de vidrio (preferiblemente bajo vacío pero no indispensable). El calor neto recolectado aquí es transferido al fluido que circula dentro del tubo (en el caso colector cilíndrico) o un recipiente (en el caso de colector parabólico) [1].

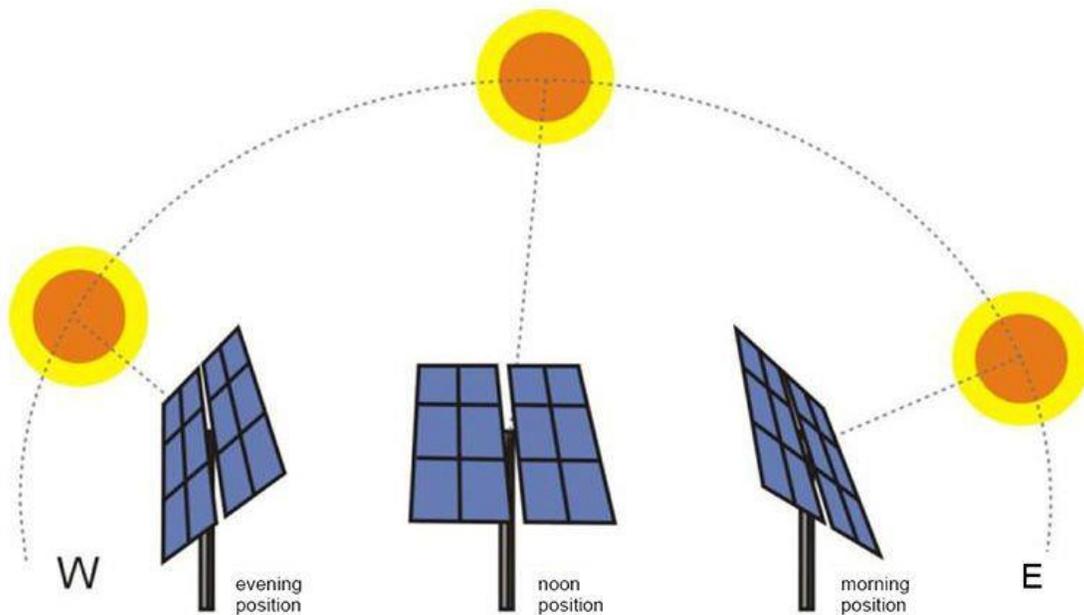


**Figura 5.** Concentrador parabólico [1].

## **2.4 SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR (SOLAR TRACKER)**

El seguidor solar consiste en un sistema, el cual genera un movimiento, que permite seguir la trayectoria del sol durante el día. De esta manera se aumenta de forma considerable la cantidad de energía solar que recibe la placa fotovoltaica [9]. Al poder elegir el ángulo del seguidor solar, que se adapta a la posición del sol en el firmamento a lo largo de la jornada, optimizamos la recepción de esta fuente de energía limpia, que podemos transformar en energía eléctrica [9]. Cuando las placas

solares están expuestas a la luz solar, el ángulo con el que los rayos llegan a la superficie de la placa solar es directamente proporcional a la cantidad de energía generada. Este ángulo se conoce como el ángulo de incidencia, y es un factor muy importante a tener en cuenta y determina lo bien que la placa solar convierte la radiación en electricidad. Cuanto más perpendicular sea el ángulo, más energía produce el panel fotovoltaico. Los seguidores solares orientan los paneles fotovoltaicos de manera que su superficie forme  $90^\circ$  con los rayos solares [11].



**Figura 6.** Seguidor solar [10].

Hay dos tipos de sistemas de seguimiento solar: en un eje y en dos ejes. El primero mueve el panel solar en un eje, normalmente alineado norte-sur. Este sistema permite al panel moverse de este a oeste, siguiendo al sol desde la salida hasta la puesta de sol. Estos sistemas presentan un menor coste, mayor simplicidad y la posibilidad de su adaptación a cubiertas, pero realizan un seguimiento solar menos preciso, captando menos energía [11].



**Figura 7.** Seguidor solar en un eje [12].

Un seguidor en dos ejes, se mueve en dos direcciones, uno alineado norte-sur y otro este-oeste. Este tipo de sistemas están diseñados para maximizar la producción de energía durante todo el año. Pueden variar la orientación según la estación, además de seguir al sol durante el día. Por lo tanto, cuentan con un seguimiento solar más preciso que los de un eje, con mayores rendimientos, y generalmente, dificultan el robo de los paneles solares, sin embargo, suponen un mayor coste [11].



**Figura 8.** Seguidor solar en dos ejes [13].

Los seguidores solares pueden contar con control manual o automático. El control manual está más indicado para aquellos que deseen abaratar costes. Los automáticos, por su parte, cuentan con microprocesadores que determinan la posición del sol basándose en sensores o en un programa de datos astronómicos sobre la posición solar [11]. Como es normal, este sistema tiene sus partes positivas y negativas. Al ser una tecnología pesada y costosa no está muy recomendada para uso residencial, pero para negocios puede suponer un importante incremento de rendimiento y por tanto de rentabilidad [11]. Ventajas de los seguidores solares: rentabilidad, eficiencia y localización. Desventajas de los seguidores solares: coste, mantenimiento y peso [11].

## **2.5 SENSORES SOLARES DE SEGUIMIENTO SOLAR**

Las energías renovables son cada vez más importantes y los sensores solares juegan un papel fundamental en lo que a la energía solar se refiere. Entre las principales aplicaciones de los sensores está el seguimiento solar y de fuentes de luz, mediciones de radiación solar, sistemas de apuntamiento, control de actitud, determinación de actitud de drones y controladores de plataforma de seguimiento solar [14]. Ser capaces de localizar la energía del sol y sus radiaciones contribuye con el medio ambiente porque mejora la eficiencia de la energía solar, una de las fuentes energéticas más potentes en la lucha contra el cambio climático. Entre otros motivos, la energía solar no emite gases de efecto invernadero, por lo que no contribuye al calentamiento global, y es una gran alternativa al uso de combustibles contaminantes como el carbón o el carbón [14]. El sensor es el elemento que permite la detección y medida de la falta de direccionamiento entre el vector sol y la normal a la superficie de captación. El sensor suele estar constituido por pares de elementos fotosensibles montados sobre el módulo y moviéndose solidariamente con él. Los fotosensores se valen de la radiación solar directa para detectar la posición del sol. La imposibilidad del seguimiento cuando se producen ocultamientos del sol y la necesidad de emplear un tiempo en la recuperación del direccionamiento cuando el sol reaparece son características inherentes a todos los sistemas de seguimiento basados en fotosensores [16]. La desviación detectada por los fotosensores transmite

una señal de actuación que controla el funcionamiento de los motores para conseguir el movimiento del módulo. Se suelen emplear motores de velocidad constante que funcionan de manera intermitente de modo que el error de direccionamiento se mantenga en una banda de tolerancia [16].



**Figura 9.** Sistema de seguimiento solar [16].



**Figura 10.** Panel seguidor solar [17].

## 2.6 AUTOMATIZACIÓN DE UN SENSOR SEGUIMIENTO SOLAR

Para automatizar completamente un proceso, es necesario que haya conectividad entre todos los elementos, desde las máquinas y el panel de control hasta los sensores, los periféricos y otros componentes. Una vez que todos sus activos estén conectados y comunicados entre sí, empezarán a producir grandes cantidades de datos en tiempo real a medida que el proceso se desarrolla. Estos datos proporcionan una información inestimable sobre una serie de indicadores clave de rendimiento, desde el rendimiento y la calidad de la producción hasta los residuos, las emisiones y los tiempos de inactividad [18]. Se puede analizar para identificar dónde se pueden hacer mejoras y cualquier problema que deba abordarse, y poner de relieve cualquier problema potencial de seguridad o mantenimiento que deba tenerse en cuenta. Estos datos, y el modo en que se recogen, almacenan y analizan, son la clave para conseguir una mejora continua a través de la automatización industrial. La automatización es el objetivo final. Significa que procesos enteros pueden funcionar con una interacción humana mínima y ser capaces de mantener una calidad de producto constante a lo largo de toda la producción [18].

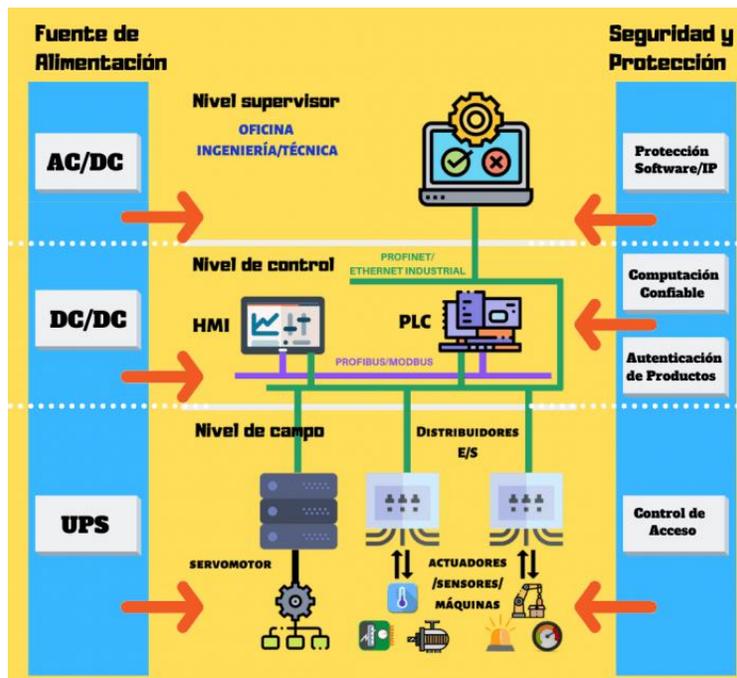
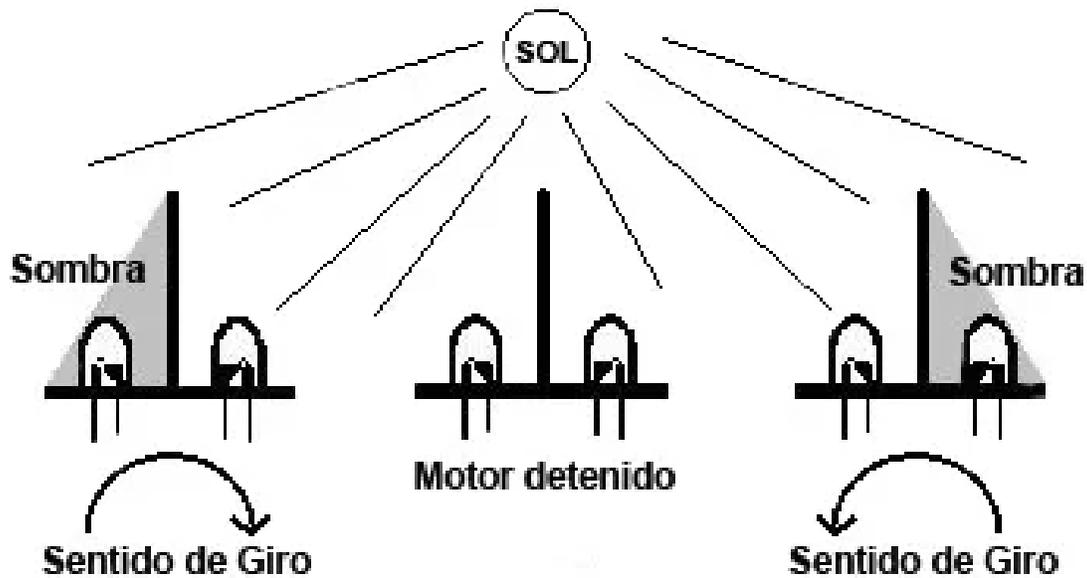


Figura 11. Esquema de un sistema de automatización industrial básico [19].

El Seguidor solar funciona mediante el uso de dos fotorreceptores en cada eje de movimiento. Estos sensores captan la radiación solar, por lo que una diferencia entre ellos sobre una misma línea recta será indicio de que el sol no está ubicado de manera perpendicular [20].



**Figura 12.** Funcionamiento del seguidor solar [20].

Como se muestra en el esquema, la intensidad de la radiación solar captada por los sensores no es la misma, ya que el sol no se encuentra perpendicular a ellos. Por medio de un sistema de control electrónico, esta diferencia es traducida a movimientos de los motores que regulan la posición del seguidor solar [20]. Cuando la intensidad solar captada por ambos sensores sea prácticamente igual, los motores se detendrán y el módulo de giro seguidor solar quedará posicionado de tal forma que el sol incidirá perpendicularmente sobre ellos [20].

### **III. DESARROLLO**

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

##### **3.1.1 Diseño del sensor solar integrado al sistema de seguimiento solar**

El colector solar de canal parabólico se encuentra integrado en la geometría de la máquina extrusora híbrida de estudio. Para la movilidad sobre un eje principal (eje x) de 1 grado de libertad del colector solar se emplea una unidad de giro comunicada a un actuador, el cual recibe señales de giro (en sentido horario o anti horario) del hardware y software del sistema de seguimiento solar, todo lo anterior en base a las señales del sensor solar de fotorresistencias LDR de estudio.

El sensor solar está integrado de 2 fotorresistencias LDR GL5516 (LDR 1, derecha; LDR2, izquierda) alojados dentro de una carcasa de protección con ventanas de paso de luz solar hacia uno u otro fotorresistor según la posición del Sol.

El sensor solar y el sistema mecatrónico de seguimiento solar controla los movimientos de giro (en sentido horario o anti horario) de un motor NEMA 23 OK57H18112A 4.2A 3Nm según las señales emitidas por 2 fotorresistencias LDR GL5516 (LDR 1, derecha; LDR2, izquierda).

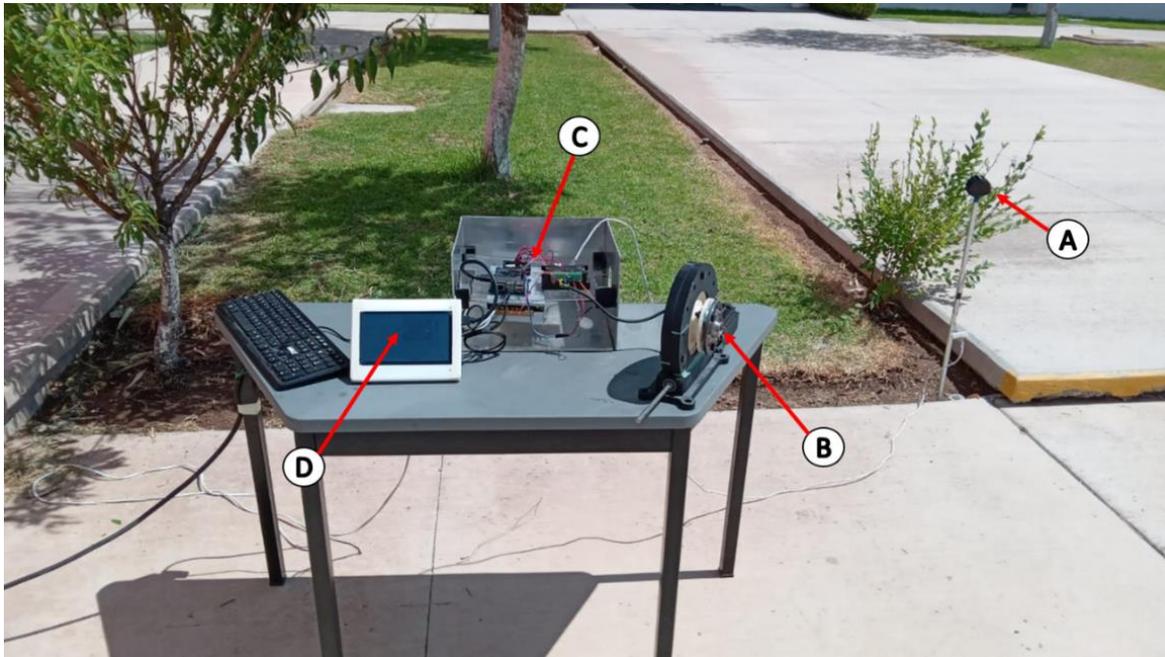
El sistema se diseñó en base a 1 tarjeta Raspberry Pi 3 modelo B comunicada a 1 driver TB6560, 1 convertidor MCP3008, al actuador y las fotorresistencias, entre otros elementos de electrónica modular.

En la Figura 13, se observa el arreglo mecatrónico.

##### **3.1.2 Diseño del sistema de control (algoritmo) del sensor solar y sistema de seguimiento solar**

El sistema de control (algoritmo) de seguimiento solar fue desarrollado en lenguaje de programación Python 3. También se desarrolló una interfaz elaborada en Python mediante la librería de gráficos Tkinter para controlar la operación del sistema de seguimiento solar propuesto a través de una serie de botones y funciones. El algoritmo fue diseñado como un sistema de control de lazo cerrado debido a que el motor NEMA gira hacia un sentido según la carga de mayor intensidad de luz que recibe una u otra

LDR, esto es, que la respuesta de salida (rotación del motor) está regulada por el ajuste constante de las respuestas de entrada (señal de las fotorresistencias), ver Figura 20. El algoritmo logra el objetivo de que los rayos solares se concentren sobre el barril en ciertos periodos de tiempo, más sin embargo se sugiere optimizar la programación en trabajos subsecuentes.

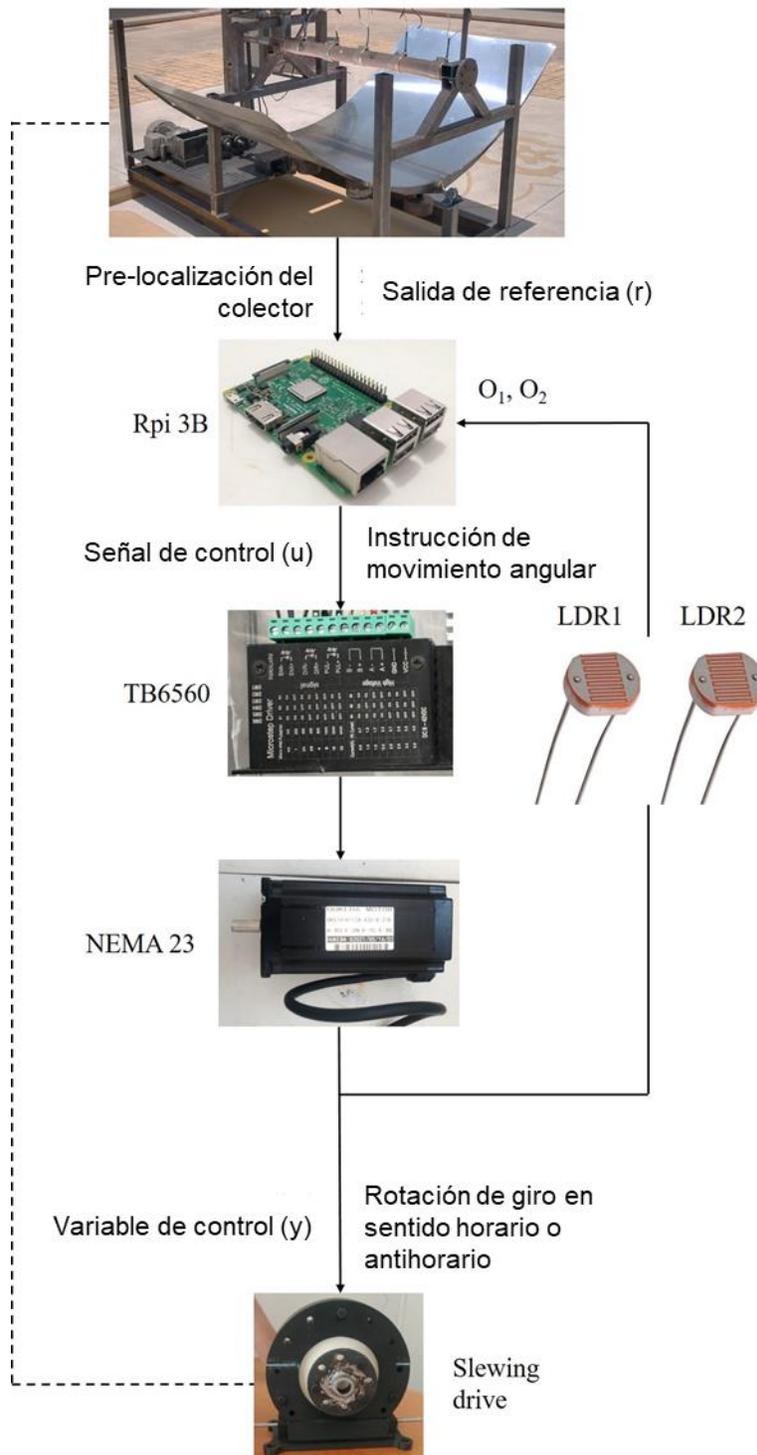


**Figura 13.** Sistema mecatrónico del sensor y seguimiento solar: (A) sensor solar, (B) slewing drive, (C) hardware de seguimiento solar y (D) interfaz del hardware de sistema solar.

### 3.1.3 Pruebas experimentales

El sensor solar y sistema de seguimiento solar se colocó en operación manual y se registraron las temperaturas alcanzadas en el barril de la máquina extrusora híbrida mediante la concentración de energía solar proyectada por el colector solar de canal parabólico girado por las señales originadas por el sensor solar. Ningún diseño experimental fue empleado.

### Máquina extrusora híbrida con colector puesto



**Figura 14.** Sistema de control en lazo cerrado del sensor solar y sistema mecatrónico de seguimiento solar.

### 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										
Sistema de control										
Construcción del sensor										
Pruebas experimentales										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

*Figura 15. Cronograma de actividades general.*

## IV. RESULTADOS

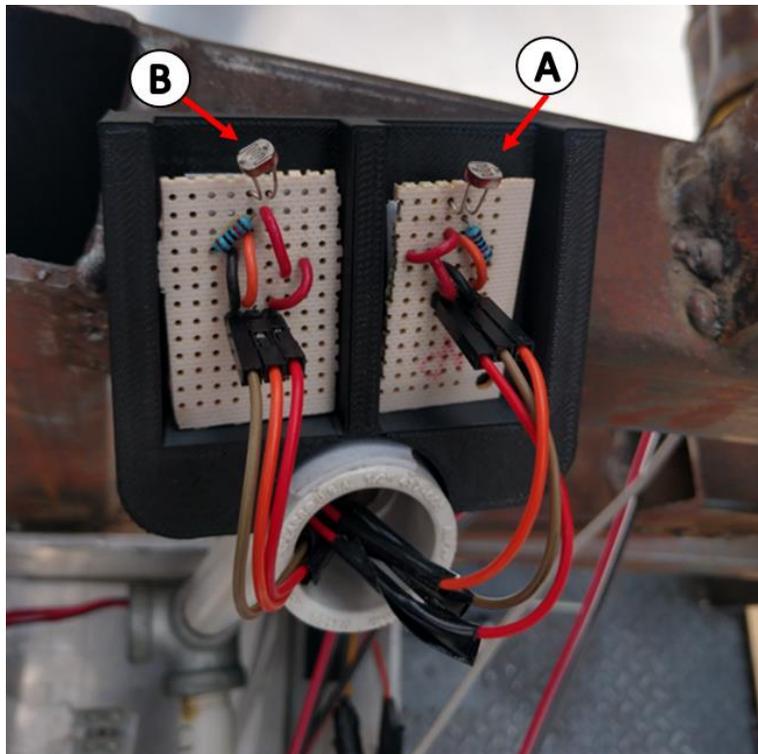
Por cuestiones de patentado, solo se presentan algunos resultados.

### 4.1 OPERACIÓN DEL SENSOR SOLAR Y SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR

De las Figuras 40 a la 110, se presentan vistas del sensor solar y del sistema de seguimiento solar completo construido.

Con el sensor solar y el sistema de seguimiento solar se logro que el colector solar de canal parabólico proyecte la radiación solar de manera lineal a lo largo del barril, el cual va adquiriendo calor (temperatura).

Para el caso del sistema mecatrónico de seguimiento solar se logró recibir las señales de las LDR y mediante la RPi emitir la orden de giro del actuador.



**Figura 16.** Sensor solar: (A) LDR 1-derecha, (B) LDR2-izquierda.



**Figura 17.** Sensor solar: carcaza y postería.



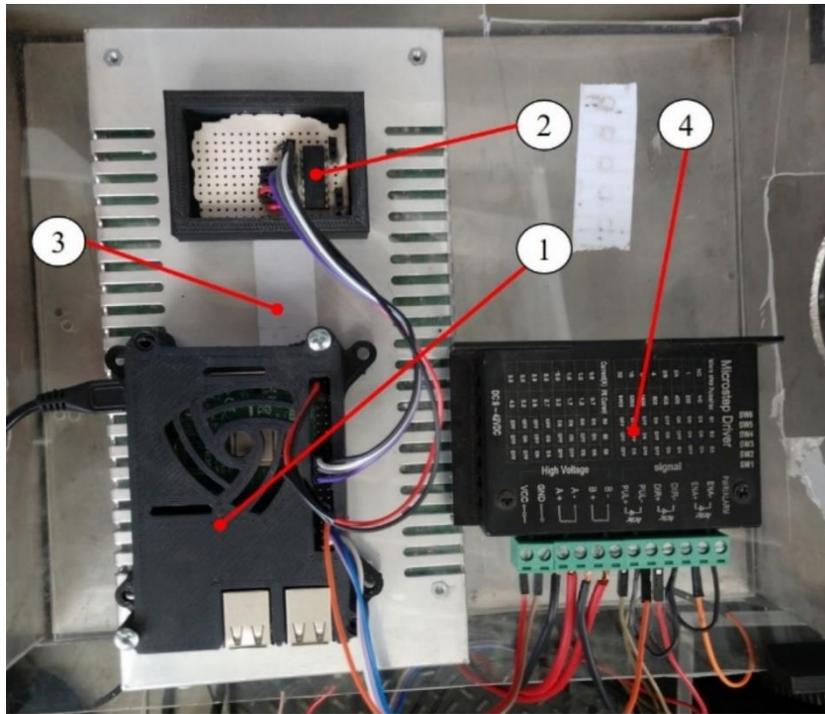
**Figura 18.** Sensor solar: vista de las ventanas de la carcaza.



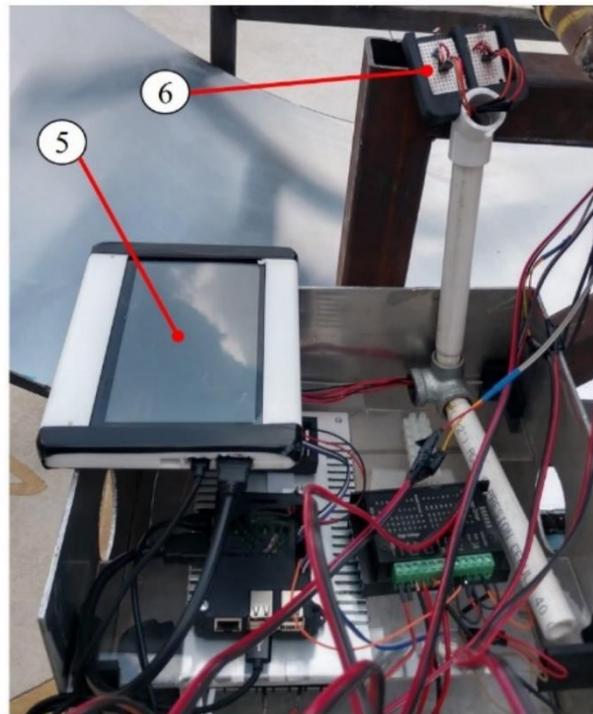
**Figura 19.** Sensor solar: vista interna de la carcaza del sensor solar.



**Figura 20.** Sensor solar con radiación solar incidente sobre él.



(a)

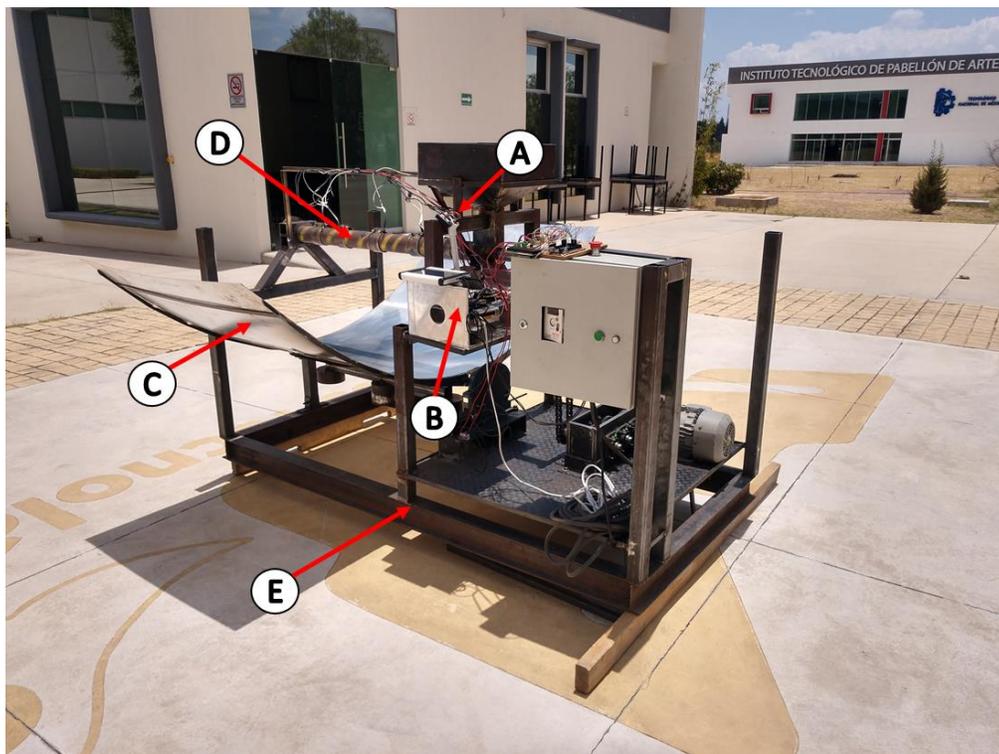


(b)

**Figura 21.** Sistema mecatrónico de seguimiento solar. 1a. Raspberry Pi con carcasa. 2a. MCP3008. 3a. Fuente de alimentación. 4a. Driver TB6560. 5b. Pantalla. 6b. LDR (tomada de [15]).



**Figura 22.** Vista del sensor solar (A) instalado en máquina extrusora híbrida.



**Figura 23.** Vista completa del sistema integrado: (A) sensor solar, (B) sistema de seguimiento solar, (C) colector solar de canal parabólico, (D) barril, (E) máquina extrusora híbrida.

## 4.2 SISTEMA DE CONTROL DEL SENSOR SOLAR Y DEL SISTEMA DE SEGUIMIENTO SOLAR

El algoritmo determina el funcionamiento del motor NEMA conforme las señales de salida ( $O_1$  y  $O_2$ ) de las fotorresistencias. La señal  $O_1$  corresponde a la fotorresistencia LDR1 (derecha-giro en sentido horario) y la señal  $O_2$  es la fotorresistencia LDR2 (izquierda-giro en sentido anti horario). El código del algoritmo se definió con base a la sensibilidad a la energía luminosa ambiental que posee la fotorresistencia de estudio. Donde se definieron los siguientes criterios para la estructura del algoritmo: (1) reconocer el valor de las tensiones de las LDR transformadas en valores digitales de tensión de salida interpretadas por la Raspberry Pi; (2) escala de la tensión de salida de las LDR expresadas en valores digitales de 0 a 1024 de intensidad luminosa ambiental, sin la existencia de luz focal externa; (3) se considera un ángulo perpendicular de  $90^\circ$  de incidencia de la luz solar ambiental sobre la superficie de captación de la LDR y (4) no se establece ninguna distancia del origen de la luz ambiental a la LDR. El algoritmo de control cuantifica el valor de la señal de las fotorresistencias, conforme la radiación solar recibida por cada LDR, para emitir las instrucciones hacia el motor (paro total, giro en sentido horario o anti horario) según corresponda. El giro del motor se activará cuando se registre un valor de condición  $>1000$  de intensidad luminosa en una u otra LDR. Como error de histéresis se estableció que al cumplir la condición una fotorresistencia, la otra en automático registrara un valor de cero. Cuando ninguna LDR cumpla la condición, se registrarán los valores de cada sensor, lo cual se interpretará como un equilibrio donde el motor está en paro total con la radiación focal solar dirigida al barril. En las Figuras 120 a la 140, se muestran las interfaces bajo las tres condicionantes descritas. La interfaz desarrollada permite programar el funcionamiento del algoritmo en modo manual y en modo de seguimiento. Cuenta con botones para (i) activar/desactivar el giro del actuador, (ii) indicar el giro a la izquierda/derecha; (iii) botones de seguridad para ejecutar/detener el movimiento y (iv) especificar el modo de operación; así mismo, cuenta con visualizadoras de la intensidad luminosa de una u otra LDR y el sentido de giro activado. Es por ello, que se sugiere que el algoritmo de seguimiento solar funciona adecuadamente en los periodos donde los rayos solares se mantienen

perpendicularmente al colector, caso contrario, un ajuste manual debe ser realizado para mantener el punto focal sobre el barril.



**Figura 24.** Interfaz de condición con motor detenido (sin rotación): Función, Track\_Sol; LDR LEFT, 884; LDR RIGHT, 978; se mantiene radiación solar concentrada en el barril.



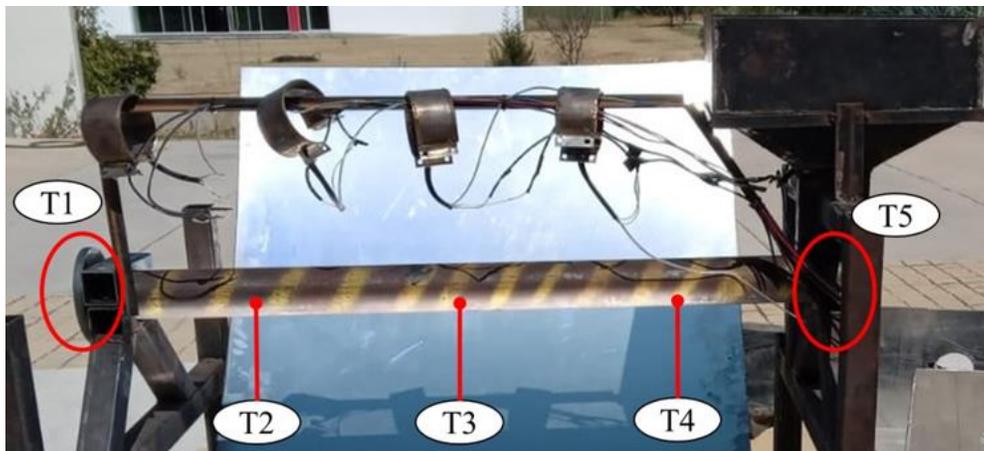
**Figura 25.** Interfaz de condición con rotación a la izquierda (sentido anti horario): Función, Track\_Sol; LDR LEFT, 1009; LDR RIGHT, 816; la rotación del motor es hacia la izquierda hasta detenerse y mantener la radiación solar concentrada en el barril.



**Figura 26.** Interfaz de condición con rotación a la derecha (sentido horario): Función, Track\_Sol; LDR LEFT, 942; LDR RIGHT, 1002; la rotación del motor es hacia la derecha hasta detenerse y mantener la radiación solar concentrada en el barril.

### 4.3 PRUEBAS EXPERIMENTALES REALIZADAS

Se realizaron pruebas de funcionamiento del sensor solar y del sistema de seguimiento solar y se registraron las temperaturas que alcanzo el barril. En la Figura 150, se muestran los puntos de medición de temperaturas que fueron seleccionados.

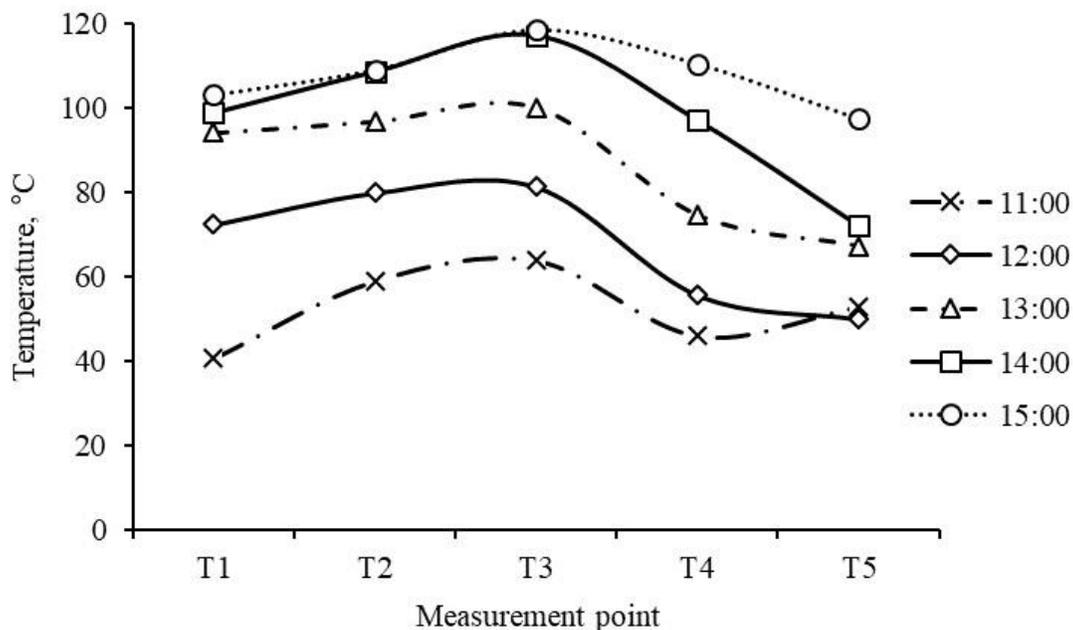


**Figura 27.** Puntos de medición de la pruebas de funcionamiento del sensor solar.

La máquina extrusora hibrida fue colocada bajo el Sol en un área libre de obstáculos de efecto sombra y en el que el sensor solar y el sistema de seguimiento solar

fue puesto en operación. Bajo la modalidad de funcionamiento manual, se colocaba el foco del colector solar de canal parabólico sobre el barril. Con el control de seguimiento, se registraron temperaturas cercanas a los 90 y 120 °C en el interior y exterior del barril. Si bien, las temperaturas logradas no son las adecuadas para una operación de extrusión de plásticos, si permite ser catalogadas como temperaturas de pre-calentamiento que se sugiere coadyuvaran a disminuir la operación de las resistencias.

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). En promedio, la irradiación solar, de los días de pruebas, para cada hora de las 11:00, 12:00, 13:00, 14:00 y 15:00 horas fue de 806, 897, 1042, 1079 y 1024 W/m<sup>2</sup>, respectivamente (fuente: Observatorio Meteorológico Aguascalientes), lo que hace coherentes las temperaturas alcanzadas en el interior y la superficie del barril por acción del colector. A las 14:00 y 15:00 horas se presentan los valores caloríficos de mayor magnitud logrados.



**Figura 28.** Temperaturas logradas bajo Sol, sin resistencias colocadas y sin el husillo puesto. T1 y T5 son en el interior del barril; T2, T3 y T4 lecturas sobre la superficie externa del barril.

## 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 un sensor solar a base de fotorresistencias LDR, donde las señales de los fotorresistores son comunicadas a una tarjeta Raspberry Pi integrada dentro del hardware de un sistema de seguimiento solar también construido para este estudio. En particular, el sensor solar y el sistema de seguimiento solar fueron integrados dentro de la geometría de una máquina extrusora híbrida con el objetivo de controlar el movimiento de giro de 1 eje de un colector solar de canal parabólico, el cual concentra los rayos solares sobre el barril de la máquina extrusora híbrida e incrementar su temperatura para pruebas de extrusión de plásticos de recicle. Con el sensor solar de seguimiento solar puesto 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 barril de la máquina extrusora híbrida. 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, 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.
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] Nandwani, S. S. (2005). Energía solar. Conceptos básicos y su utilización. Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica). Jun, 1-26.
- [2] Energiasae. (2023). Energía solar. energiasae.com. <https://energiasae.com/solar/>
- [3] Calor solar. (s. f.). Tecnologías. <https://calorsolar.mx/tecnologias/>.
- [4] MaquiClick. (2016). Máquinas de extrusión. ¿Cómo funcionan?. <https://www.fabricantes-maquinaria-industrial.es/maquinas-extrusion-funcionan/>
- [5] Baño Martí, E. (2019). Extrusora para grancear plástico ¿Qué es y cómo funciona?. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/260036-Extrusora-para-grancear-plastico-Que-es-y-como-funciona.html>
- [6] Astria. (2022). ¿Qué es un concentrador solar?. <https://atria.com.pe/que-es-un-concentrador-solar/>
- [7] LACYQS. (2016). Canal Parabólico y Fresnel. <https://concentracionsolar.org.mx/concentracion-solar/canal-parabolico-y-fresnel#:~:text=Un%20colector%20solar%20cil%C3%ADndrico%20parab%C3%B3lico,el%20foco%20de%20la%20misma.>
- [8] Fedkin, M. (s. f.). 2.2 Tipos y Elementos de Colectores Concentradores. PennState. <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/7>
- [9] Mint. (2022). ¿En qué consiste el sistema de seguimiento del sol?. <https://mintforpeople.com/noticias/en-que-consiste-sistema-seguimiento-sol/>
- [10] Schwartz. (2018). Seguidor solar. ¿Qué es? ¿Para que sirve? Tipos de seguidores solares. LBA Industrial. <https://www.lbaindustrial.com.mx/seguidor-solar/>
- [11] SotySolar. (2020). Seguidores solares: todo lo que necesitas saber. <https://sotysolar.es/placas-solares/seguidores-solares>
- [12] SALCANTAY. (s. f.). Seguidor Solar 1 eje en línea para 24 paneles con pilar. <https://www.todoensolar.com/Seguidor-Solar-1-eje-en-linea-para-24-paneles-con-pilar>
- [13] Laenergiasolar.org. (2018). Seguidor Solar. <https://laenergiasolar.org/energia-fotovoltaica/seguidor-solar/>

- [14] Grupo Absolute. (2021). Diferentes usos de los sensores solares. Solar MEMS. <https://www.solar-mems.com/diferentes-usos-de-los-sensores-solares/>
- [15] 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
- [16] SOPELIA. (2020). SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR. <https://www.energiasolar.lat/sistemas-de-seguimiento-solar/>
- [17] Gutierrez, S. (2019). Seguidor Solar Inteligente para Casa y Edificios a través de Internet de las Cosas. Medium. <https://sebastiangtz.medium.com/seguidor-solar-inteligente-para-casa-y-edificios-a-trav%C3%A9s-de-internet-de-las-cosas-dbf68f01aeb>
- [18] Banelec. (2022). Los cinco pasos de la automatización industrial. <https://www.banelec.com/es/the-five-steps-to-industrial-automation/>
- [19] aula21. (s. f.). Automatización Industrial: Qué es y cómo funciona. <https://www.cursosaula21.com/que-es-la-automatizacion-industrial/>
- [20] DGIT. (2018). Seguidor solar. <https://es.dgitreducer.com/article/rastreador-solar-i00019i1.html>

## ANEXO 1

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



**EDUCACIÓN**  
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



INSTITUTO 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. DEPI003/2023

Asunto: Carta de aceptación de Residencias Profesionales

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

#### PRESENTE

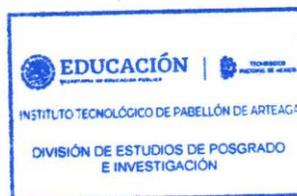
Por medio del presente se notifica que el(la) **C. ALDO ESTEBAN BUENOSTRO DELGADO**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con número de control 191050155, ha sido aceptado(a) para realizar en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Desarrollo de un sensor de seguimiento solar a base de fotorresistencias LDR: 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 Velasco Gallardo (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. DEPI028/2023  
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. ALDO ESTEBAN BUENROSTRO DELGADO**, estudiante de la carrera de Ingeniería Mecatrónica, con número de control 191050155, concluyo satisfactoriamente en esta Institución su Residencia Profesional a través de proyecto interno de carácter local en el ámbito de Investigación, denominado **"Desarrollo de un sensor de seguimiento solar a base de fotorresistencias LDR: 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 Velasco Gallardo (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

