



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE  
CONCENTRACIÓN SOLAR PARA EL TRATAMIENTO  
TERMOQUÍMICO DE LOS RESIDUOS DE ENVASES DE  
PLAGUICIDAS”**

TESIS

Para obtener el título profesional de:

**Maestro en Ciencias en Ingeniería  
Ambiental**

Presenta:

**ING. EDUARDO MOLINA MURGUÍA**

Nombre y grado del Director de tesis: Dr. Hugo Luis Chávez García

Nombre y grado del Codirector de tesis: Dr. Arturo Díaz Ponce



Morelia Michoacán, México; julio de 2025

# Agradecimientos

A mi madre Martha Alicia y a mi padre Gilberto, quienes durante toda mi vida académica han estado apoyándome en mis estudios, estando al pendiente de cualquier cosa que necesitase, sin importar las circunstancias ni en el momento que fuese. Siempre con una actitud impecable, siempre siendo los mejores padres que una persona pudiese tener.

A mis hermanos Gilberto, Carlos, Aracely, Alejandra y Santiago, quienes de igual forma, hay estado ahí en cualquier momento de mi vida académica para brindarme su apoyo y disposición para contribuir en cualquier cosa; además de estar en los mejores momentos familiares que han sido de los mejores en los que he estado.

A mis amigos en general, quienes a pesar de ser bastantes, siempre he tenido la fortuna de tener a los mejores, generando una sensación de comodidad y desestrés siempre que lo necesité.

Al Dr. Arturo Díaz Ponce por ser parte de este proyecto y estar asesorándome con una calidad académica perfecta, siempre a disposición y siempre haciéndolo de la mejor manera.

Al Mtro. Alejandro Chávez, quien de igual forma siempre tuvo la amabilidad y disposición de contribuir al proyecto y ayudarme a hacerlo de la mejor manera.

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, institución educativa que me abrió sus puertas y sus instalaciones para seguirme preparando académica, profesional y personalmente.

De igual forma, agradecer a CONACYT, por haberme brindado el apoyo académico, ya que sin él hubiera sido muy complicado estar totalmente comprometido al proyecto y al estudio de mis materias.

Finalmente, pero no menos importante, a mi Pokebola, mi mascota que desde hace ya más de cuatro años ha estado conmigo en cualquier situación, incluso en los momentos en los que hacia tarea y no podía atenderla; siempre alegre, siempre siento una acompañante arrugada y espectacular.

# Dedicatoria

*Dedicado a:  
Mi madre Marta, y a mi padre Gilberto, lo más importante de mi vida.  
Lo mejor que tengo, valoro y amo.  
Por ser parte de lo que me contribuye a ser mejor persona  
y a ser la calidad de persona que soy.*

**“PASE LO QUE PASE EN EL CAMINO,  
SIEMPRE HAY QUE INTENTARLO”**

-Lionel Messi  
The GOAT

# ÍNDICE

|                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| RESUMEN .....                                                                               | 11 |
| ABSTRACT .....                                                                              | 12 |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                                                        | 13 |
| 2. MARCO TEÓRICO .....                                                                      | 16 |
| 2.1 Impacto ambiental de los plaguicidas .....                                              | 16 |
| 2.2 Tipos de envases de plaguicidas .....                                                   | 16 |
| 2.2.1 Envases rígidos .....                                                                 | 16 |
| 2.2.2 Envases flexibles:.....                                                               | 16 |
| 2.3 Tratamiento de los residuos de los envases de plaguicidas .....                         | 16 |
| 2.4 Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas.....                      | 17 |
| 2.4.1 Cadena de valor integral .....                                                        | 17 |
| 2.4.2 Reciclaje .....                                                                       | 17 |
| 2.4.3 Molienda o triturado .....                                                            | 17 |
| 2.4.4 Incineración controlada .....                                                         | 17 |
| 2.4.5 Co-procesamiento .....                                                                | 18 |
| 2.5 Disposición clandestina de los envases de plaguicidas .....                             | 18 |
| 2.6 Normatividad aplicable para los residuos de plaguicidas .....                           | 18 |
| 2.7 La energía solar .....                                                                  | 19 |
| 2.8 Tipos de aprovechamiento de la energía solar.....                                       | 19 |
| Ventajas y desventajas de la energía solar .....                                            | 20 |
| 2.9 Sistemas de concentración solar .....                                                   | 21 |
| 2.10 Sistemas de seguimiento solar .....                                                    | 21 |
| 2.11 Sistema de concentración de disco parabólico .....                                     | 22 |
| 2.12 Sistema de concentración con lente Fresnel .....                                       | 23 |
| 3. ANTECEDENTES .....                                                                       | 24 |
| 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                                                         | 25 |
| 5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....                                                  | 26 |
| 6. HIPOTESIS .....                                                                          | 27 |
| 7. OBJETIVOS .....                                                                          | 28 |
| 8. METODOLOGÍA .....                                                                        | 29 |
| 8.1 Revisión del estado del arte de los sistemas de concentración solar.....                | 29 |
| 8.2 Selección del sistema de concentración para el tratamiento adecuado de los residuos.... | 29 |
| 8.3 Diseño del receptor de calor .....                                                      | 30 |

|         |                                                                                                                 |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 8.4     | Construcción del receptor de calor a escala y pruebas piloto .....                                              | 30 |
| 8.4.1   | Selección del receptor de calor .....                                                                           | 30 |
| 8.4.1.1 | Prueba térmica del tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 30 cm de longitud .....                                   | 30 |
| 8.4.1.2 | Prueba térmica de tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 20 cm de longitud .....                                    | 32 |
| 8.4.1.3 | Prueba térmica de tubo 1 ¼ pulgadas de diámetro y 15 cm de longitud .....                                       | 33 |
| 8.4.2   | Material utilizado para pruebas térmicas .....                                                                  | 34 |
| 8.4.2.1 | Relevador Estado Sólido de 40A.....                                                                             | 34 |
| 8.4.2.2 | Pirómetro Digital modelo REX-C100FK07-V*AN.....                                                                 | 35 |
| 8.4.2.3 | Termopar tipo J.....                                                                                            | 36 |
| 8.4.2.4 | Resistencia eléctrica tipo parrilla .....                                                                       | 36 |
| 8.4.2.5 | Disco metálico .....                                                                                            | 37 |
| 8.4.2.6 | Medidor infrarrojo de temperatura .....                                                                         | 37 |
| 8.4.3   | Registro de temperatura de fundición del plástico .....                                                         | 38 |
| 8.5     | Validación del receptor de calor propuesto .....                                                                | 40 |
| 8.6     | Montaje del receptor de calor al sistema de concentración solar .....                                           | 41 |
| 8.6.1   | Localización de la zona de pruebas .....                                                                        | 42 |
| 8.6.2   | Obtención de parámetros ambientales en la zona .....                                                            | 42 |
| 8.6.3   | Incorporación del disco de acero al sistema de concentración solar .....                                        | 44 |
| 8.6.3.1 | Prueba de calor con disco de acero inoxidable .....                                                             | 45 |
| 8.6.3.2 | Prueba de calor con disco de acero inoxidable sin sustrato y recubrimiento absorbente calórico .....            | 48 |
| 8.6.4   | Comparación de comportamiento térmico disco de acero sin recubrimiento vs disco de acero con recubrimiento..... | 51 |
| 8.7     | Pruebas de calor a receptor de calor .....                                                                      | 52 |
| 9.-     | RESULTADOS.....                                                                                                 | 53 |
| 10.-    | CONCLUSIONES.....                                                                                               | 60 |
| 11.-    | CONTRIBUCIONES O RECOMENDACIONES .....                                                                          | 61 |
| 12.-    | CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....                                                                                  | 62 |
|         | BIBLIOGRAFÍA.....                                                                                               | 64 |

# ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Receptor de calor de acero inoxidable con apertura.....                                              | 30 |
| <b>Figura 2.</b> Prueba 3 a tubo de 15 cm de longitud.....                                                            | 33 |
| <b>Figura 3.</b> Relevador de Estado Sólido 40A.....                                                                  | 34 |
| <b>Figura 4.</b> Configuración electrónica del revelador utilizado.....                                               | 34 |
| <b>Figura 5.</b> Pirómetro digital REX-C100.....                                                                      | 35 |
| <b>Figura 6.</b> Configuración electrónica del pirómetro.....                                                         | 35 |
| <b>Figura 7.</b> Termopar tipo J.....                                                                                 | 36 |
| <b>Figura 8.</b> Resistencia eléctrica tipo parilla.....                                                              | 36 |
| <b>Figura 9.</b> Base de prueba para residuos plásticos.....                                                          | 37 |
| <b>Figura 10.</b> Medidor infrarrojo de temperatura marca Truper.....                                                 | 37 |
| <b>Figura 11.</b> Pruebas de comportamiento del plástico.....                                                         | 38 |
| <b>Figura 12.</b> Fundición parcial del plástico.....                                                                 | 39 |
| <b>Figura 13.</b> Fundición completa del plástico.....                                                                | 39 |
| <b>Figura 14.</b> Medidas para corte en laterales de tubo 1 ¼ pulgadas.....                                           | 40 |
| <b>Figura 15.</b> Tubo soldado en laterales con apertura.....                                                         | 40 |
| <b>Figura 16.</b> Sistema de seguimiento solar: a) vista trasera, b) vista frontal.....                               | 41 |
| <b>Figura 17.</b> Sistema de concentración Fresnel montado al sistema de seguimiento solar.....                       | 42 |
| <b>Figura 18.</b> Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Unidad Aguascalientes.....                               | 42 |
| <b>Figura 19.</b> Perforaciones a disco de acero.....                                                                 | 44 |
| <b>Figura 20.</b> Acoplamiento de disco de acero a base para pruebas.....                                             | 44 |
| <b>Figura 21.</b> Sistema de concentración Fresnel y disco de acero para pruebas de temperatura.....                  | 45 |
| <b>Figura 22.</b> Sensor infrarrojo de calor.....                                                                     | 46 |
| <b>Figura 23.</b> Temperatura inicial del disco de acero sin recubrimiento.....                                       | 47 |
| <b>Figura 24.</b> Máxima temperatura del disco de acero sin recubrimiento.....                                        | 47 |
| <b>Figura 25.</b> Gráfica de temperaturas de disco de acero sin recubrimiento.....                                    | 48 |
| <b>Figura 26.</b> Esmalte en aerosol de alta temperatura.....                                                         | 48 |
| <b>Figura 27.</b> Temperatura inicial del disco de acero con recubrimiento.....                                       | 50 |
| <b>Figura 28.</b> Temperatura máxima del disco de acero con recubrimiento.....                                        | 50 |
| <b>Figura 29.</b> Gráfica de temperaturas de disco de acero con recubrimiento.....                                    | 51 |
| <b>Figura 30.</b> Gráfica de comparación de disco de acero sin recubrimiento vs disco de acero con recubrimiento..... | 51 |
| <b>Figura 31.</b> Puntos de medición de temperatura en el receptor.....                                               | 52 |
| <b>Figura 32.</b> Sensor de temperatura tipo K.....                                                                   | 53 |
| <b>Figura 33.</b> Incidencia de fotones en el receptor de calor en posición perpendicular al sol.....                 | 54 |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 34.</b> Distribución del flujo de rayos solares en receptor de calor.....    | 54 |
| <b>Figura 35.</b> Comportamiento del punto focal en el receptor en los ejes X, Y. .... | 55 |
| <b>Figura 36.</b> Simulación de flujo de calor en el receptor. ....                    | 56 |

# ÍNDICE DE DIAGRAMAS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Diagrama 1.</b> Diagrama de flujo del sistema de concentración solar..... | 29 |
|------------------------------------------------------------------------------|----|

# ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Prueba térmica del tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 30 cm de longitud. ....     | 31 |
| <b>Tabla 2.</b> Prueba térmica de tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 20 cm de longitud. ....      | 32 |
| <b>Tabla 3.</b> Prueba térmica de tubería 1 ¼ pulgadas de diámetro y 15 cm de longitud. ....      | 33 |
| <b>Tabla 4.</b> Especificaciones técnicas relevador estado sólido 40A. ....                       | 34 |
| <b>Tabla 5.</b> Especificaciones técnicas pirómetro digital REX-C100 .....                        | 35 |
| <b>Tabla 6.</b> Especificaciones generales resistencia eléctrica tipo parrilla. ....              | 36 |
| <b>Tabla 7.</b> Especificaciones técnicas de medidor infrarrojo Truper. ....                      | 38 |
| <b>Tabla 8.</b> Histórico de condiciones climáticas Aguascalientes. ....                          | 43 |
| <b>Tabla 9.</b> Especificaciones técnicas lente Fresnel.....                                      | 45 |
| <b>Tabla 10.</b> Especificaciones técnicas de sensor infrarrojo BOSCH Professional GIS 1000C..... | 46 |
| <b>Tabla 11.</b> Datos tomados el día 18/Abril/2024.....                                          | 47 |
| <b>Tabla 12.</b> Datos tomados el día 3/mayo/2024. ....                                           | 49 |
| <b>Tabla 13.</b> Datos de concentración de fotones en receptor. ....                              | 55 |

## ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS.

**CAT:** Centros de Acopio Temporal.

**CREVP:** Centro de Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas.

**CSP:** Energía de concentración solar, por sus siglas en inglés.

**STS:** Sistema de seguimiento solar, por sus siglas en inglés.

**DHI:** Radiación solar difusa, por sus siglas en inglés.

**DNI:** Radiación solar directa.

**EP:** Envases de plaguicidas.

**PEAD:** Polietileno de alta densidad.

**PEBD:** Polietileno de baja densidad.

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, por sus siglas en inglés.

**LMR:** Límite máximo de residuos.

**MIP:** Manejo integrado de plagas.

**PLAMREVP:** Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas.

**PTC:** Concentrador de canal parabólico, por sus siglas en inglés.

**REP:** Residuos de envases de plaguicidas.

**SADER:** Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural.

**LGPGIR:** Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

## RESUMEN

El incremento de la demanda del aguacate (*Persea americana 'Hass'*), tiene una gran importancia económica, debido a que aporta un alto ingreso de divisas a México. Los agroquímicos utilizados en el sector agrícola han tenido una relevancia importante, ya que el aumento en la producción de alimentos provenientes de este sector ha sido gracias al uso de plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, entre otros, puesto que estos ayudan al incremento del rendimiento de los cultivos y la satisfacción de la demanda de alimentos para la población mundial [1]. Sin embargo, tiene un gran impacto ecológico, social y a la salud pública, pues estudios previos han demostrado que la mayor parte de los envases de plaguicidas no se gestionan adecuadamente [2]. Además, su tratamiento implica altos costos a los generadores de estos residuos. En México, la legislación para el tratamiento de estos residuos y cuya generación va en aumento, considera cualquier tratamiento termoquímico para así evitar al máximo posible la incineración. En la actualidad, estos residuos se coprocesan (incineran) en hornos cementeros que operan con carbón, lo cual es costoso ambientalmente (no sustentable) y económicamente (no sostenible) [2], además, son la única opción, debido a que estos hornos alcanzan temperaturas de 1,500 a 1,600°C. A pesar de esto, la norma mexicana NOM-098-SEMARNAT-2022 no contempla estos hornos para tratar estos residuos [3], por lo que es imprescindible cambiar la incineración por otros tipos de tratamiento termoquímico y la sustitución por combustibles alternativos. El objetivo general de esta investigación es la implementación de energía solar de concentración que logre una temperatura mínima 260 °C en el receptor para garantizar la fundición de los envases y el residuo contenido dentro de los mismos.

**Palabras Clave:** *ambiente, contaminación, gestión, energía solar, salud.*

## ABSTRACT

The increase in demand for avocado (*Persea americana* 'Hass') is of great economic importance, since it brings a large amount of foreign exchange to Mexico. Agrochemicals used in the agricultural sector have had an important relevance, since the increase in food production from this sector has been due to the use of pesticides, herbicides, fertilizers, among others, since they help to increase crop yields and meet the demand for food for the world population [1]. However, it has a great ecological, social and public health impact, since previous studies have shown that most pesticide containers are not properly managed [2]. In addition, its treatment implies high costs to the generators of these wastes. In Mexico, the legislation for the treatment of these wastes, whose generation is increasing, considers any thermochemical treatment in order to avoid incineration as much as possible. Currently, these wastes are co-processed (incinerated) in cement kilns that operate with coal, which is costly environmentally (not sustainable) and economically (not sustainable) [2], and they are also the only option, since these kilns reach temperatures of 1,500 to 1,600 °C. In spite of this, the Mexican standard NOM-098-SEMARNAT-2022 does not contemplate these furnaces to treat these wastes [3], so it is essential to change incineration for other types of thermochemical treatment and substitution by alternative fuels. The general objective of this research is the implementation of concentrating solar energy that achieves a minimum temperature of 260 °C in the receiver to guarantee the melting of the containers and the waste contained inside them.

**Key words:** *environment, pollution, management, solar energy, health.*

## 1. INTRODUCCIÓN.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define a los plaguicidas como cualquier sustancia o mezcla de sustancias de origen químico o biológico dirigido al control o destrucción de plagas, especies de plantas no deseadas que pudieran tener repercusiones al crecimiento de productos agrícolas o a ayudar al crecimiento del mismo [4]. Así mismo, plaguicidas han adquirido a lo largo del tiempo, una característica muy importante en su implementación, la cual es el control de enfermedades que se pueden transmitir por medio de vectores como lo son la malaria, dengue, enfermedad de Chagas, etc. [5]. Además, han tenido un papel muy importante en el desarrollo del sector agrícola, dado que los insectos, las hierbas y otras plagas afectan negativamente gran cantidad de los cultivos ya que entre estos consumen los nutrientes, espacio y humedad del espacio. No obstante, debido a su toxicidad, los plaguicidas tienen repercusiones negativas en la salud de las personas y en el ambiente mismo, y es debido a esto que deben considerarse tres aspectos [4] los cuales se muestran a continuación: 1) El empleo de estas sustancias en la agricultura representa un alto riesgo, debido a que sus residuos impactan negativamente a la salud del personal que está en contacto con ellos y a los diferentes sistemas ambientales (suelo, agua y aire) y 2) Debe de considerarse que el residuo que se genera después de emplear a los plaguicidas que lo contuvieron (envases y bolsas), es considerado como peligroso [6], por lo cual, no deben mezclarse ni gestionarse con los residuos plásticos de origen urbano o industrial.

La Secretaría de Salud, menciona que se considera residuo al plaguicida o la combinación de éste destinados al control de plagas, especies de animales, plantas o vectores no deseados que tengan repercusiones negativas o interfieran en la producción agrícola y forestal permitida en o sobre los productos destinados a consumo humano o animal [7].

El marco jurídico de la mayoría de los países, al igual que la legislación ambiental mexicana, clasifican a estos residuos como peligrosos [8], [9]. Una alternativa planteada a la problemática de la disposición inadecuada de los residuos de plaguicidas, es el Manejo Integrado de Plagas (MIP) el cual considera propiciar el buen manejo de las plagas desde el ámbito ambiental, propiciando el uso de información apoyados en estudios científicos, metodología y técnicas en conjunta labor, para la prevención y mitigación del aumento de aspectos nocivos a los sembradíos, además de impulsar el uso de alternativas al tratamiento de plagas en los sembradíos, como lo son los depredadores naturales, estimaciones de nivel de población de plagas, etc. El MIP advierte que el uso de los plaguicidas es necesario solamente si la valoración técnica así lo indica [4].

La legislación mexicana establece un plan de manejo como una acción necesaria para la gestión adecuada de los envases de plaguicidas (EP). Este plan de manejo es una herramienta destinada a minimizar los residuos peligrosos, con base en los criterios que conforman el desarrollo sustentable (eficiencia ambiental, social, responsabilidad compartida y tecnológica); evalúa los actos, metodología y medios factibles, además de incluir a los productores, exportadores y todas aquellas personas relacionadas en el sector agrícola e implementación de plaguicidas, además de los diferentes sectores de gobierno (municipal, estatal y nacional) [6].

En México se generaron alrededor de 50 millones de envases de agroquímicos al año [10], siendo el 85% plástico, en donde Michoacán el número de envases que se generan solamente de plaguicidas es de 422 toneladas al año [11]. A pesar de esto, en México continúa la disposición clandestina de los REP en todos los subsistemas del agua (como en ríos, canales de riego, arroyos, etc.) y suelo (barrancas, brechas, zanjas) y en algunos casos se queman, entierran o inclusive se llegan a utilizar para transportar agua para consumo humano y animal.

Los envases que logran ser recolectados, es decir, cerca de 29 millones de envases de agroquímicos, se incineran al año; siendo de forma controlada en los hornos y en co-procesamiento [12]. Sin embargo, este tratamiento produce gases constituidos en general por agua, dióxido de carbono, gases ácidos o tóxicos y partículas tóxicas, entre ellas cenizas y óxidos metálicos [4].

El uso de la energía ha estado en cada una de las actividades que ha desempeñado el ser humano desde la antigüedad, donde mayormente ha ido mediante el uso de combustibles fósiles [13]. Esto ha generado problemáticas ambientales donde a la fecha se ha visto reflejado en un cambio climático a nivel global. Es por esto que una de las principales necesidades de la sociedad es incrementar la generación de energía para una población creciente, por lo que la transición de los combustibles fósiles a fuentes renovables, como la energía solar requiere desarrollar tecnologías más eficientes para optimizar la generación de energía.

La energía solar es un tipo de energía renovable, no contaminante y disponible a nivel mundial de forma ilimitada. Su aprovechamiento se puede realizar de forma directa (de forma térmica) o convirtiéndola directamente en energía eléctrica [14]. El sistema de seguimiento solar (STS, por sus siglas en inglés) es un dispositivo inteligente que se construye con base en la mecánica, electrónica y la automatización lo que permite controlar la inclinación de su superficie de forma automática para garantizar la captación de los rayos solares que golpean el área de interés desde el amanecer hasta el atardecer. Esto permite aumentar significativamente la cantidad de recolectada en comparación con los sistemas fijos que solo son óptimos solo en ciertos momentos del día. Estos dispositivos se utilizan principalmente en el concentrador fotovoltaico (CPV) y en la energía de concentración solar (CSP) ya que necesitan captar a lo largo del día, la radiación solar directa para su correcto funcionamiento.

Los sistemas de concentración solar emplean lentes o espejos que reflejan o concentran la radiación solar difusa en un punto. Posteriormente a esto, el calor generado se puede utilizar en algún proceso de aprovechamiento de la energía [15]. A pesar que la legislación mexicana permite la incineración controlada de los envases vacíos de plaguicidas siempre y cuando no exista otra tecnología menos contaminante que pueda disponer de estos residuos [16], se lleva a cabo la disposición clandestina de estos residuos, teniendo consecuencias graves en factores ambientales y de salud humana y animal. Además, la misma legislación no considera la incineración como disposición final de estos residuos debido a que los hornos ubicados en las plantas cementeras no están diseñados para su utilización en este propósito de forma prolongada [2].

Es por esto que en esta investigación se planteó la posibilidad de implementar la energía solar de concentración como alternativa al tratamiento convencional de estos residuos, debido a la no utilización de combustibles fósiles en su operación, además de su temperatura de concentración superior a los 300-400 °C la cual es más que suficiente

para fundir el plástico que se utiliza para la fabricación de la mayor parte de envases de plaguicidas, la cual es del 85%.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Impacto ambiental de los plaguicidas**

Los plaguicidas actúan en un corto plazo de tiempo en el lugar donde se implementan. Esto propicia la contaminación del ambiente abiótico (suelo, agua y aire), y además ocasiona la muerte de múltiples organismos los cuales no se consideraban en un principio su afectación, como los enemigos naturales de las plagas que sí se tenían contempladas afectar, sobre todo los insectos que el hombre no considera como plaga o no tienen afectaciones negativas al cultivo [17]. A corto plazo, los plaguicidas también tienen afectaciones a los organismos que propician el equilibrio ecosistémico en conjunto con aquellos que interactúan con los mismos, entre los cuales se incluyen el mismo ser humano [5]. En apariencia, estos efectos no son considerables, debido a que la aplicación de plaguicidas no es constante, sin embargo, aún así, los efectos que tiene en el ambiente a corto plazo son negativos. El uso creciente de plaguicidas incrementa el riesgo de la afectación a largo plazo, ya que se disponen en el ambiente compuestos químicos que debido a su composición compleja son de degradabilidad baja. Aunque la aplicación del plaguicida se suspenda, la bioacumulación de estos seguirá teniendo repercusiones negativas al ambiente, contaminando agua, suelo y aire [18].

### **2.2 Tipos de envases de plaguicidas**

Acorde con el Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas [6], existen diversos envases que son utilizados para el almacenamiento de los plaguicidas, los cuales son utilizados en campo para diversos fines. Dicha tipología de envases se presenta a continuación:

#### **2.2.1 Envases rígidos**

Polietileno de alta densidad (PEAD) y polietileno de baja densidad (PEBD): Galones de 10 y 12 L, garrafas de 1 y 2.5 galones, bidones de 1, 5 y 20 L, botellas de 0.040, 0.050, 0.060, 0.095, 0.100, 0.125, 0.200, 0.240, 0.250, 0.267, 0.500, 0.600, 0.900, 1, 1.2 1.5, 1.85, 3,785, 4, 5, 9, 10, 20, 40, 50 L. Polietilentereftalato (PET): botella de 0.100, 0.250, 0.500 y 1 L, garrafa de 5 L. Mezcla de polipropileno y polietileno (COEX) y tapas de polipropileno.

#### **2.2.2 Envases flexibles:**

Papel o cartón. Bolsas de polietileno: 0.100 mg, 0.250 mg, 0.800 mg y 1 kg. Bolsa de película aluminizada de 0.100mg, 0.200 mg, 0.250 mg, 0.500 mg, 0.800 mg y 1 kg.

### **2.3 Tratamiento de los residuos de los envases de plaguicidas**

La incineración es un proceso de tratamiento termoquímico que emplea los residuos que no se pueden reciclar, posee características destructivas de los elementos de entrada. Es un tratamiento controlado en el que la materia tiene una disminución de entre un 70 al 90% de su volumen [19] y que la energía que se libera en este proceso puede ser aprovechada. Esta técnica produce productos combustibles (gas combustible, biocombustible líquido e incluso biomasa sólida), a partir de biomasa como la madera o

los desechos agrícolas. El carbón contiene más contenido energético que la madera, pero los gases combustibles volátiles como el  $\text{CH}_4$  y los compuestos orgánicos volátiles (COV) tienen mucho más contenido energético que la madera. Para la incineración de biomasa se usan tres tipos de calentamiento y mantener altas temperaturas: calentamiento interno donde se quema parte de la materia prima y se controla el flujo de aire; calentamiento con gas recirculado y los vapores piroleñosos se queman en una cámara de combustión externa y dirigido al reactor donde está en contacto directo con la materia prima [20].

La gasificación es una reacción endotérmica en la que la biomasa se descompone en presencia de un agente oxidante (aire, vapor,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$  o una mezcla de éstos) en sustancias químicas valiosas y con bajas emisiones de  $\text{NO}_x$ , en comparación con la combustión convencional [48]. La gasificación tiene beneficios sobre la combustión ya que convierte la materia prima en electricidad y combustible [21]. El Syngas es uno de los productos que se pueden utilizar como combustible para operar las turbinas para generación de energía eléctrica y que en la actualidad requieren de gas natural como combustible para operar. Los combustibles líquidos y gaseosos son los productos primarios del proceso de gasificación [22]. Estos productos son fáciles de transportar y almacenar para usos posteriores como combustibles para el transporte. Consta de cuatro pasos principales que incluyen (i) secado, (ii) pirólisis, (iii) oxidación y (iv) reacciones de reducción.

## **2.4 Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas**

De acuerdo con el Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas (PLAMREVP) [6], se maneja todo un plan de seguimiento para todos los envases que han cumplido su función una vez utilizados, los cuales se presentan a continuación:

### ***2.4.1 Cadena de valor integral***

En este apartado, es de suma importancia para el consumidor final de los plaguicidas y de agroquímicos en general, ya que es esta persona la que decide si el residuo generado se constituirá en residuo o le aportará el valor para transformación e incorporación en procesos productivos. Es relevante mencionar que para que este apartado se lleva a cabo de forma adecuada, debe existir la información, capacitación y concientización acerca del buen manejo de estos residuos, la cual recae principalmente en el generador y en el aplicador de estos productos en campo.

### ***2.4.2 Reciclaje***

Los envases que posean características adecuadas para su reciclaje deben contar con el triple lavado, además de estar secos y perforados para evitar su uso en actividades de consumo humano o animal, por lo cual se destinarán a empresas o industrias encargadas de su reciclaje, así como a empresas que usen estos envases como materia prima en sus procesos productivos y de reciclaje.

### ***2.4.3 Molienda o triturado***

Los envases destinados a molienda o triturado es necesario que hayan pasado por el proceso del triple lavado, secos y perforados para destinarse a la cadena de valor integral.

### ***2.4.4 Incineración controlada***

Este proceso sólo se llevará a cabo en aquellos envases contaminados, para los que no haya otra alternativa y también para todos aquellos envases flexibles que no se puedan

realizar la técnica del triple lavado, enviándolos a empresas de transporte y manejo de residuos peligrosos aprobados por la SEMARNAT

#### **2.4.5 Co-procesamiento**

A causa del poder calorífico que presentan los envases vacíos de agroquímicos, el cual está entre 6,300 a 7,900 cal/gr, estos poseen un gran potencial para utilizarlos como combustible alternativo en las plantas productoras de cemento que son autorizados por la SEMARNAT para este fin.

En el instante que se necesite una alternativa para aprovechar los residuos por co-procesamiento, se enviarán los envases triplemente lavados y poseer con el transporte adecuado.

## **2.5 Disposición clandestina de los envases de plaguicidas**

El problema de la disposición inadecuada de los envases de plaguicidas se acrecenta, pues se vierten en cuerpos de agua, los incineran o se entierran. Además, los envases vacíos se reúsan, por lo que el impacto ambiental y toxicidad se incrementan [24]. Regresarlos a los fabricantes es una alternativa no tomada en cuenta por parte de los consumidores y no obstante es la opción más viable y segura para disminuir el impacto ambiental y la reducción del riesgo a la salud de los trabajadores y sus familias. Existe más del 50% de trabajadores agrícolas que menciona no haber recibido con anterioridad pláticas o diálogos por parte de proveedores, dueños de las huertas, ni tampoco de entidades gubernamentales sobre el manejo adecuado de los envases de agroquímicos o el uso correcto que se le debe otorgar a las jaulas como confinamiento temporal [23].

## **2.6 Normatividad aplicable para los residuos de plaguicidas**

- I. **NOM-256-SSA1-2012.** Establece los requisitos sanitarios que deben cumplir los establecimientos y personal dedicados a los servicios urbanos de control de plagas en zonas urbanas [25].
- II. **NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017.** Establece los lineamientos técnicos y procedimientos para la autorización de límites máximos de residuos de plaguicidas químicos de uso agrícola con fines de registro y uso [26].
- III. **NOM-098-SEMARNAT-2002.** Establece las especificaciones de operación, así como los límites máximos permisibles de emisión de contaminantes a la atmósfera para las instalaciones de incineración de residuos [16].
- IV. **Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo.** Incluye los usos recomendados oficialmente o autorizados a nivel nacional en las condiciones existentes, para combatir las plagas de manera eficaz y fiable. Abarca una variedad de niveles de aplicaciones de plaguicida hasta la concentración más elevada de uso autorizado, aplicada de tal manera que deje el residuo más bajo que sea posible [27].
- V. **Convenio de Estocolmo.** Limita o prohíbe la producción y uso de contaminantes orgánicos persistentes, la mayoría insecticidas [28].
- VI. **Convenio de Róterdam.** Establece un mecanismo de autorización previa para la importación y exportación de sustancias químicas peligrosas y plaguicidas

comerciales, con la finalidad de tener toda la información necesaria para conocer las características y los riesgos que implica el manejo de dichas sustancias [29].

- VII. Código internacional de conducta FAO.** Proporciona un marco que guía a las autoridades de reglamentación gubernamentales, al sector privado, a la sociedad civil y a otras partes interesadas sobre las mejores prácticas para el uso de plaguicidas y los envases vacíos [30].

## 2.7 La energía solar

La energía solar procede de la fusión nuclear dentro del sol, donde la temperatura superficial es de aproximadamente 7,500 °C y el flujo de energía de radiación es de 63 MW/m<sup>2</sup>. La energía emitida del Sol, llega al planeta tierra en forma de ondas electromagnéticas que viajan en el espacio en todas las direcciones y en distintas frecuencias [31]. No obstante, la fusión nuclear del sol se calcula en alrededor de 6,000 millones de años, por lo que aún cuenta con suficiente hidrógeno para mantener su tasa actual de disipación de energía durante al menos otros 8,000 millones de años, por lo cual se considera como una fuente de energía renovable. Aunque el sol y la tierra están a una distancia de 150,000,000 de km, no toda la energía emitida llega al planeta, ya que solamente abarca una pequeña proporción del área en las que el sol emite energía. Los 170,000 Terawatts (TW) de potencia que absorbe la tierra es tan solo una fracción de lo que emite el Sol. Sin embargo, esta energía es 10,000 veces más grande que cualquier otra fuente de obtención de energía [32].

La radiación solar no es solo luz visible, la longitud de onda más corta es de la luz violeta y ultravioleta, con una longitud de onda más corta que los rayos X y los rayos gamma; las longitudes de onda más largas corresponden al color rojo, y en mayor escala se encuentran las ondas infrarrojas, microondas y radio [33].

De acuerdo con la incidencia de los rayos en la tierra, se distinguen cuatro tipos de radiación solar [34], [68]:

**Directa:** Radiación recibida sin que se desvíe en su paso por la atmósfera.

**Difusa:** Radiación que modifica su dirección debido a la reflexión y difusión de la atmósfera.

**Albedo:** Es la radiación directa y difusa que se recibe por reflexión en el suelo u otras superficies próximas.

**Global:** Es la suma de la radiación solar, difusa y albedo.

Aunque la radiación total que recibe la Tierra es de los cuatro tipos, la radiación directa es la mayor y más importante para las aplicaciones fotovoltaicas y térmicas.

## 2.8 Tipos de aprovechamiento de la energía solar

El uso de la energía ha estado en cada una de las actividades que ha desempeñado el ser humano desde la antigüedad, donde mayormente ha sido mediante el uso de combustibles fósiles [13]. Esto ha generado problemáticas ambientales donde a la fecha se ha visto reflejado en un cambio climático a nivel global. Es por esto que una de las principales necesidades de la sociedad es incrementar la generación de energía para una

población creciente mediante fuentes no contaminantes, por lo que la transición de los combustibles fósiles a fuentes renovables, como la energía solar requiere desarrollar tecnologías más eficientes para optimizar la generación de energía.

En la actualidad, se ha logrado utilizar la radiación solar, aprovechando de forma activa la radiación térmica por medio de receptores solares, que son dispositivos que convierten la energía radiante en calor de baja temperatura ( $<100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), la cual se utiliza para operar sistemas de calefacción y para calentar agua para piscinas y para uso en viviendas y edificios institucionales [14].

La energía solar además de considerarse como una fuente de energía renovable e inagotable por el periodo de vida que le queda al sol, también el aprovechamiento mediante la conversión de la radiación electromagnética a calor (conversión térmica) y conversión directa en electricidad, mediante sistemas fotovoltaicos, no produce residuos por lo cual se considera con grandes posibilidades para la reconversión energética y disminuir el cambio climático [15].

La energía solar puede ser aprovechada de las siguientes maneras [34], [14], [35].

- **Utilización directa:** Convencionalmente es nombrada energía solar pasiva, ya que es utilizada en edificaciones con capacidad de absorber la radiación y convertirla en energía térmica destinada a otorgar el confort dentro de dichas estructuras.
- **Conversión en calor:** Llamada energía solar térmica, es la captación de la energía solar que posteriormente se usa para elevar la temperatura de fluidos que se encuentran en el interior de los captadores térmicos y se destina para calentar agua para usos diferentes como regaderas, albercas, etc. Existe también la tecnología de calor solar de proceso, el cual el más importante de ellos es la producción de calor para procesos industriales, la cual abarca una significativa cantidad de calor. Algunos de los procesos más importantes en los cuales se utilizan calor (dependiendo de la industria), son: esterilización, pasteurización, hidrólisis, destilación y evaporación, además del lavado, entre otros procesos.
- **Transformación en electricidad:** Comúnmente es conocida por energía solar fotovoltaica, está tiene la cualidad de convertir la radiación solar en electricidad, mediante células fotovoltaicas integradas en módulos. Esta energía convertida (electricidad), se puede emplear para el abastecimiento de energía en hogares, lugares públicos o industriales, o se puede almacenar en baterías para utilizarla en algún otro momento.

También existe otra tecnología donde, a partir del aumento de temperatura de un líquido por medio de la radiación solar y utilizándolo en un proceso termodinámico convencional, se produce a energía requerida para accionar un generador que produce energía eléctrica. Esta tecnología utiliza la radiación solar como fuente de energía a alta temperatura para la producción de electricidad.

## **Ventajas y desventajas de la energía solar**

Entre las ventajas se encuentra el hecho de que es una fuente de energía considerada como inagotable, no contaminante, la infraestructura requerida, sin ningún tipo de contaminación acústica debido a que su aprovechamiento se realiza de forma silenciosa y su disposición en lugares inclusive remotos. Sin embargo, algunas de sus

desventajas son la disponibilidad solamente durante el día y algunos factores ambientales la pueden afectar, las construcciones para el aprovechamiento de esta energía pueden generar algún tipo de contaminación visual y afectaciones a los sistemas ecológicos [63].

## 2.9 Sistemas de concentración solar

Los sistemas de concentración solar emplean lentes o espejos que reflejan o concentran la radiación solar difusa en un punto específico. Posteriormente a esto se puede utilizar el calor generado en algún proceso de aprovechamiento de energía [15].

De acuerdo con [36], los sistemas de concentración solar se clasifican en cuatro tipos:

- 1) **Canal parabólico:** Emplea un espejo con capacidad de concentrar la radiación solar en un tubo receptor ubicado en la línea focal para poder calentar el fluido ubicado dentro del tubo.
- 2) **Fresnel:** Este sistema se subdivide en dos sistemas; el primero consta de un lente especial construido de policarbonato, acrílico o cloruro de polivinilo que da la capacidad de enfocar la radiación solar en un punto focal; el segundo sistema es lineal y contiene espejos planos que enfocan la luz solar en un receptor colocado en la parte superior del sistema ubicado transversalmente en la estructura del CSP.
- 3) **Torre central:** Está formado por heliostatos colocados en un espacio que conforman un campo, los cuales enfocan la radiación solar puntualmente en la parte superior de una estructura en forma de torre, la cual se encuentra en la parte central de todos los heliostatos. Esto causa una concentración alta de radiación; sin embargo, para que su funcionamiento sea óptimo, se requiere de un sistema de seguimiento solar en dos ejes con una precisión alta.
- 4) **Disco parabólico:** Consta de un espejo con forma de disco parabólico que concentra la radiación solar en un punto, a una distancia determinada, dependiendo de las relaciones de dimensión del mismo disco. Estos sistemas al igual que el anterior requieren de mecanismos para el seguimiento solar en sus dos ejes de movimiento.

## 2.10 Sistemas de seguimiento solar

Un seguidor solar es un mecanismo que rastrea el sol de Este a Oeste, manteniendo la posición perpendicular a los rayos solares en cualquier instante del día [37]. Consta de una parte fija y una parte móvil, con una superficie de captación que permanece en dirección a los rayos solares que inciden durante el día en sus diferentes posiciones y cuya finalidad es captar la mayor cantidad de radiación solar. El sistema controla los movimientos de la órbita del sol durante el día y los cambios de órbita a lo largo del año [38].

Los seguidores solares, en conjunto con los sistemas captadores aumentan la eficiencia de captación de radiación solar, de tal forma que se mantengan de forma perpendicular

a los rayos solares, para la conversión de esta energía captada en energía eléctrica o calor destinado para las viviendas, construcciones urbanas o industriales [37].

## 2.11 Sistema de concentración de disco parabólico

Como su nombre lo indica, se trata de una superficie de forma parabólica que dirige los rayos solares hacia un punto focal en el cual está ubicado un receptor [39]. En el receptor se coloca un motor stirling que convierte la energía térmica en energía mecánica y a la salida de éste, se coloca un alternador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica; no obstante, la generación de energía eléctrica ha sido la principal aplicación, la factibilidad del aprovechamiento de esta energía térmica para otros usos como la generación de vapor directo [41], o utilizarlo como calor en algún proceso que lo requiera. Estos sistemas tienen una eficiencia óptima, funcionamiento independiente y capacidad de funcionar con energía solar o fósil. Entre todos los sistemas de captación de energía solar, estos se consideran con mayor conversión de energía solar a energía eléctrica, con una eficiencia aproximada de 31% [42].

Existen tres elementos indispensables: concentrador parabólico, receptor (intercambiador de calor) y el motor Stirling (combustión externa) [42], [43]:

1) **Concentrador parabólico:** Al igual que todas las tecnologías de concentración solar, la reflexión de la radiación solar se logra a través de superficies ópticas de alta calidad para reducir posibles errores o pérdidas de eficiencia reflectiva. Un concentrador es una superficie creada idealmente al girar una curva plana (generatriz), alrededor de una directriz (eje de revolución) que se encuentra en el mismo plano que la curva. La generatriz de esta curva es una parábola, y la rotación alrededor de esa directriz es un plano de revolución llamado “paraboloide de revolución” o disco concentrador parabólico; los discos parabólicos utilizados en conjunto con los sistemas de concentración han tratado de aproximarse lo más posible a la superficie ideal a través de facetas o grandes superficies planas.

2) **Receptor (intercambiador de calor):** Es el elemento sobre el que se enfoca el flujo concentrado de radiación. Se trata, por tanto, de un elemento expuesto a altísimas temperaturas cuya función es la de absorber y ceder la máxima energía térmica posible al motor. El tipo de receptor que se utiliza en esta tecnología es siempre una cavidad con una pequeña abertura por donde entra el flujo concentrado. La presencia de cavidades puede reducir las pérdidas de calor, principalmente las pérdidas de radiación, debido a las altas temperaturas logradas.

Un absorbedor es un dispositivo colocado en el receptor que tiene la capacidad de transferir energía térmica enfocada sobre el receptor hasta su destino final, como el medio de trabajo de un motor Stirling, la generación directa de vapor o el calor requerido de algún proceso. Este elemento está situado en lo más profundo de la cavidad para prevenir que sobresalgan al interior de la cavidad picos elevados de flujo enfocado.

Esta cavidad está cubierta con un aislamiento que puede soportar altas concentraciones de energía, y, por lo tanto, altas temperaturas. La concentración de la radiación solar solo se proyecta o se procura hacerlo sobre el absorbedor. No obstante, existen algunas problemáticas que hacen que esto no sea así en lo absoluto.

3) **Motor Stirling:** Este componente transforma la energía térmica en energía mecánica mediante la compresión de un fluido, aumentando la temperatura que posteriormente, se extiende por medio de una turbina para generar trabajo. Después, este trabajo generado se transforma en energía eléctrica mediante un generador de energía.

## 2.12 Sistema de concentración con lente Fresnel

Una lente Fresnel es un elemento óptico delgado y plano, sin ningún tipo de curvatura; no obstante, no son tan planas como parecen, el lente se fabrica con ranuras concéntricas pequeñas ubicadas en la superficie de la lámina de plástico, que logra reducir el grosor, el peso del mismo [64]. Cada ranura posee un ángulo diferente, con una distancia focal igual para enfocar la radiación hacia un punto focal. Cada ranura se puede considerar como una pequeña lente únicamente para redirigir la luz y enfocarlas en un punto [44].

Este es un sistema alternativo que emplea lentes transparentes aplicados en un sistema de recolección de radiación solar que puede redirigirla desde un área más grande por encima del área efectiva del sistema. Esto permite utilizarlo para aumentar el rendimiento de los sistemas diseñados para la radiación ambiental; no obstante, ofrece más posibilidades para utilizarlo en los sistemas empleados para operar a niveles de radiación que no ocurren de forma natural. Esto permite diseñar celdas solares eficientes para temperaturas más altas en comparación con las celdas solares comerciales que son empleados a una potencia nominal, a 25 °C. La construcción de lentes más comúnmente empleada se llama Fresnel y usa la refracción prismática para aproximarse al comportamiento de las lentes convencionales que se usan en las lupas regulares. Esto significa que se pueden fabricar lentes significativamente más delgadas y livianas con materiales más asequibles. Inicialmente se fabricaron para su utilización en faros y permiten que la luz producida por la lámpara se dirija hacia una dirección deseada, lo cual funciona de forma fija, pero a la inversa, enfoca la radiación o luz incidente hacia un punto [45]. Otra ventaja de los lentes Fresnel es que la pérdida de transmisión aumenta con el grosor, lo que imposibilita las dimensiones de las lentes convencionales. La aproximación aumenta a medida que el número de cortes son mayores, pero el problema principal es la nitidez de los cortes, ya que existen imperfecciones que no están concentradas en el punto focal.

Una limitante de esta forma de concentración utilizando lentes Fresnel es que requiere un sistema de seguimiento solar para mantener la superficie perpendicular al sol, ya que aprovechan la componente directa del sol [66]. Las principales aplicaciones de este método son la iluminación, retroproyección, lupa, sistema condensador, faro de automóvil, sistema fotovoltaico, concentrador solar.

### 3. ANTECEDENTES

A través del tiempo, se ha realizado investigación y desarrollado nuevos métodos de descontaminación y/o eliminación de residuos peligrosos, en donde pronto podrían entrar en la recuperación de los sistemas naturales contaminados. Estos nuevos métodos podrían utilizar la energía limpia y renovable, como lo es el sol [57]. Uno de ellos es el prototipo de un reactor solar propuesto para el reciclaje de residuos sólidos peligrosos mediante energía de concentración solar, en donde se logra extraer hasta el 99% de Zinc contenido en los residuos de los polvos de los hornos de arco eléctrico [58]. También se ha utilizado para la síntesis de óxido de aluminio proveniente de las escorias del aluminio, considerado como residuo peligroso, mediante energía solar de concentración utilizando un lente Fresnel [59]. De forma similar, en [60] se emplea un sistema de concentración solar de canal parabólico para la eliminación del metomilo; un insecticida utilizado habitualmente, mediante la síntesis de óxido de hierro para su aplicación como fotocatalizador, teniendo una eficiencia superior al 95% en su eliminación en las aguas residuales provenientes de campos de cultivo.

Así mismo, en [61] muestran diferentes aplicaciones de la energía de concentración solar, como lo es la recuperación solar del ácido sulfúrico residual, mediante incineración a alta temperatura para purificarlo de los elementos que lo contienen. Por otro lado, en [62] mediante un modelado se determina la viabilidad para implementar un sistema híbrido térmico-solar de 10 MW llevado a cabo en una central termoeléctrica para la incineración de residuos sólidos urbanos, evitando una emisión de CO<sub>2</sub> de 8,000 toneladas mensuales. De igual forma en [50] se describen las diferentes formas en las que la energía solar es aplicada para el tratamiento de residuos que va desde el tratamiento de aguas residuales, desalinización, degradación fotocatalítica, etc. En cambio, en [49] se realiza la construcción de una incineradora casera a pequeña escala para la incineración de residuos domésticos la cual utiliza energía solar fotovoltaica como fuente de energía. Finalmente, en [53] se presenta el diseño y construcción un sistema solar de concentración híbrido de canal parabólico para la extrusión del plástico.

#### **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El creciente uso de plaguicidas ocasiona la generación de envases y empaques, los cuales son considerados como residuos peligrosos y cuya gestión adecuada no se lleva a cabo, teniendo consecuencias negativas para el medio ambiente y salud de las personas. Este impacto es ocasionado por la diversidad de compuestos con que los fabrican, la mayoría de estos, con diferente nivel de toxicidad. Este impacto afecta los diferentes niveles ecosistémicos como los suelos, mantos freáticos, flora y fauna tanto terrestre como marina [27]. La gestión integral de los envases vacíos de plaguicidas prácticamente es nula, por lo que resulta difícil la disminución de la problemática, ya que su utilización en los cultivos va en aumento y por consecuencia, los envases y empaques siguen la misma tendencia.

Actualmente, México posee la normatividad correspondiente para el manejo de estos residuos, sin embargo, carece de su seguimiento de forma adecuada [46]. Sin embargo, la disposición final de los mismos, la cual es la incineración, emite gases contaminantes debido al uso de combustibles fósiles que, a pesar de contar con filtros para dicho proceso, su uso prolongado puede agravar la problemática, debido a que su diseño no está destinado para esa aplicación. Este tipo de problema adquiere una mayor importancia debido a que el uso de plaguicidas y agroquímicos en general va en aumento, debido a la demanda creciente de alimentos a nivel mundial [67].

La ausencia de tratamientos adecuados para este tipo de residuos, además del poco seguimiento que se le da al plan de seguimiento hace que se requiera un nuevo método realmente eficiente para la correcta disposición de estos residuos.

Es por esto que surge la necesidad de desarrollar nuevas tecnologías que, en base a fuentes de energía no contaminantes puedan disponer de estos residuos. Un nuevo tratamiento para estos residuos podría representar una opción interesante y sustentable, con la capacidad de reducir la contaminación ambiental, las repercusiones que esta conlleva y la dependencia a los combustibles fósiles, contribuyendo al desarrollo sostenible y a una disposición final adecuada de estos residuos.

## 5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

A lo largo de los años se ha observado que el plan de manejo de estos residuos no ha tenido éxito, pues no considera un incentivo para que el generador de estos residuos participe en su implementación y ejecución, ya que se enfocan en el acopio y no consideran el tratamiento final que se le dará a los residuos acopiados, debido a que esto implica un costo económico alto que implica el traslado para su incineración (cementeras ubicadas en la zona norte del país).

La opción de incineración en las plantas cementeras permite destruir los plaguicidas debido a que alcanzan temperaturas superiores a 1,000 °C. Sin embargo, la mayoría de los hornos de cemento en los países en desarrollo no son adecuados para este fin, debido a que además de no estar diseñados para esto, un uso prolongado puede ocasionar serios problemas ambientales; es decir, la incineración de estos residuos se permite si no hay otra alternativa de tratamiento para estos residuos.

Además, según la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) en los objetivos de los planes de manejo de los plaguicidas, se hace mención en uno de sus apartados la promoción a la innovación de métodos o tecnologías para el manejo integral de estos residuos, ambientalmente viables y económicamente factibles.

Cabe mencionar también que la legislación nacional e internacional considera a los envases de plaguicidas como un residuo peligroso y que deben tratarse con métodos termoquímicos alternativos a la incineración. Aunado a lo anterior, cualquier tratamiento termoquímico utiliza energía fósil para su funcionamiento, lo cual también impacta negativamente al ambiente e incrementa los costos de tratamiento.

Es por esta razón que es necesario implementar un sistema de concentración solar para el tratamiento termoquímico de los envases de plaguicidas. Considerando que sea adecuado en cuanto a eficiencia, debido a que implementa una fuente de energía renovable como lo es el sol; y con el sistema propuesto se pretende alcanzar las temperaturas mínimas de 260 °C que se requieren para el tratamiento de los residuos de estos plaguicidas, tanto la fundición del plástico como el residuo del plaguicida contenido dentro del mismo.

## **6. HIPOTESIS**

La implementación de un sistema de concentración solar de foco puntual permitirá alcanzar temperaturas mínimas de 260 °C en su receptor, lo que posibilitará su aplicación en la fundición de envases de plaguicidas para su disposición final. A diferencia de los métodos convencionales, este sistema utilizará energía solar en lugar de combustibles fósiles.

## **7. OBJETIVOS**

### **7.1 Objetivo general**

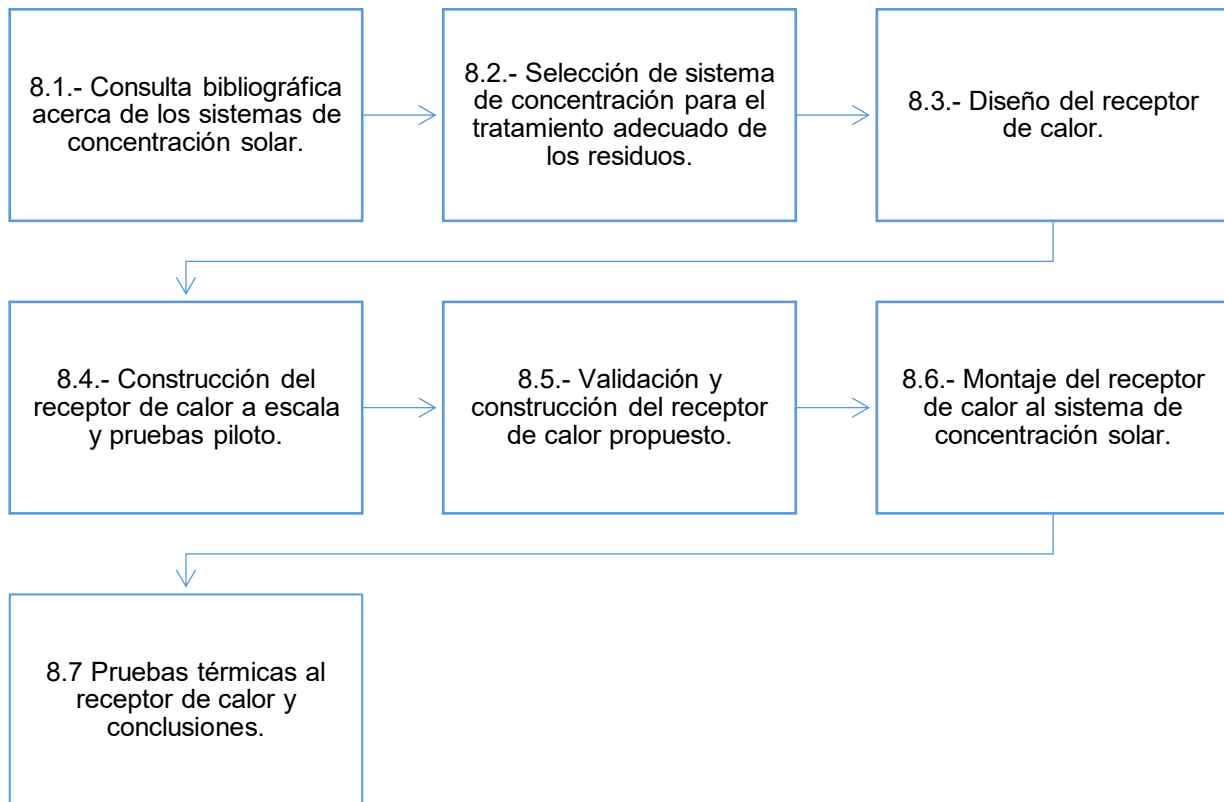
Implementar un sistema de concentración solar para el tratamiento termoquímico de los residuos de envases de plaguicidas

### **7.2 Objetivos específicos**

- Diseñar y construir el receptor de calor en el cual se encontrarán los residuos de plaguicidas que se someterán a las temperaturas de tratamiento.
- Realizar pruebas térmicas al receptor de calor para la validación de su diseño y correcto funcionamiento en condiciones reales.
- Diseñar y modelar el receptor de calor para su análisis óptico y de transferencia de calor.
- Análisis de las pruebas de calor realizadas al receptor de calor y comparación con las simulaciones realizadas.

## 8. METODOLOGÍA

Para el seguimiento del plan de trabajo del sistema de tratamiento solar propuesto, se seguirán los siguientes pasos los cuales se describen en el siguiente diagrama:



**Diagrama 1.** Diagrama de flujo del sistema de concentración solar.

### 8.1 Revisión del estado del arte de los sistemas de concentración solar

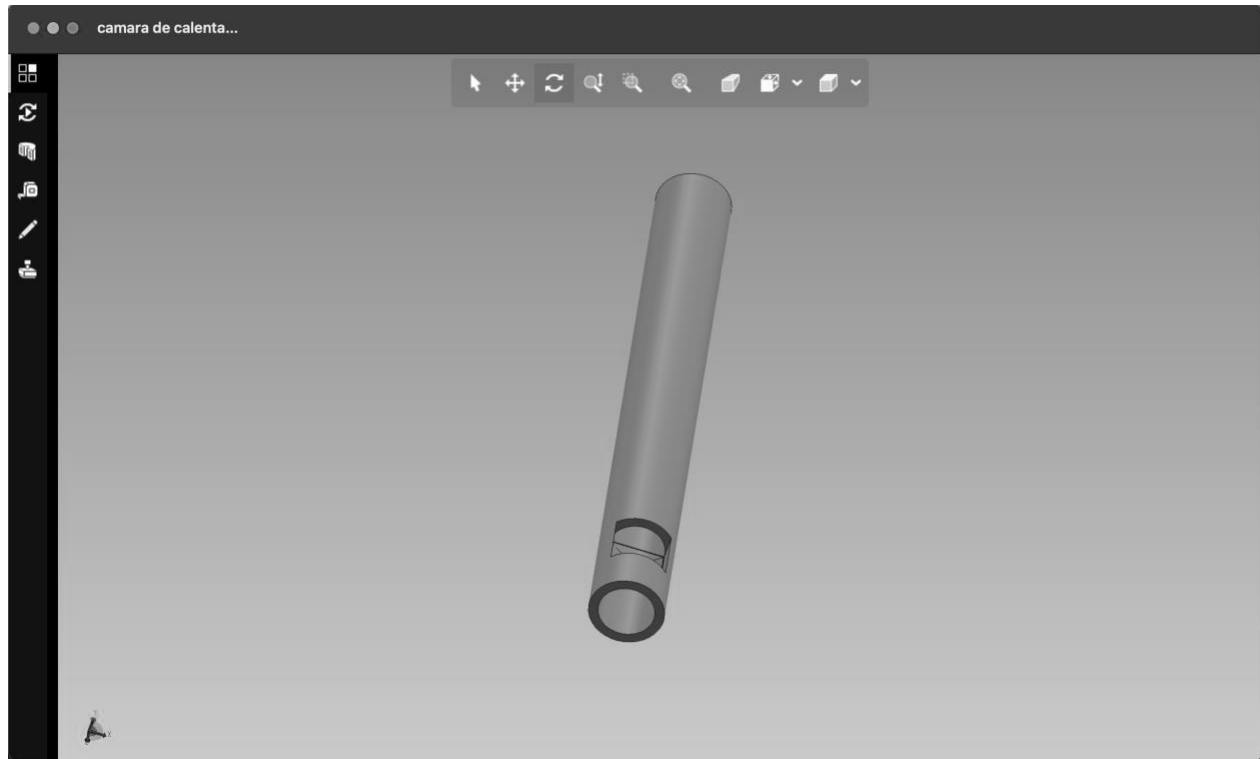
Se realizó una búsqueda exhaustiva acerca de los diferentes sistemas de concentración que existen, cada una de sus aplicaciones, así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos. Se analizaron las temperaturas de operación de cada uno de ellos para determinar cuál es el que se ajusta a las temperaturas de tratamiento de los residuos de plaguicidas.

### 8.2 Selección del sistema de concentración para el tratamiento adecuado de los residuos

Una vez realizada la búsqueda de los concentradores solares, se optó por seleccionar al sistema de disco parabólico y al sistema de lente Fresnel, esto debido a las temperaturas de operación, las cuales están entre 350 – 400 °C y 550 – 600 °C respectivamente.

Estas temperaturas nos servirán para el tratamiento de los envases de plaguicidas, ya que éstos se someterán a temperaturas de tratamiento, de aproximadamente 260 °C para evitar emitir humos tóxicos que pudiesen ser aún más nocivos para la salud de las personas y el ambiente.

### 8.3 Diseño del receptor de calor



**Figura 1.** *Receptor de calor de acero inoxidable con apertura.*

Se utilizó el software SolidWorks, el cual fue útil para el diseño del receptor de calor mostrado en la figura 1. Se realizaron pruebas térmicas en las que se simuló el punto focal con la temperatura de operación del concentrador solar, para visualizar el comportamiento del sistema de tratamiento los residuos propuesto. El material con el que se construyó el receptor fue de acero inoxidable.

### 8.4 Construcción del receptor de calor a escala y pruebas piloto

#### 8.4.1 Selección del receptor de calor

El receptor de calor se construyó con tubos de acero inoxidable (tipo 304, cédula 40, espesor de pared aproximado de 5mm). Los tubos se sometieron a pruebas térmicas con una resistencia eléctrica como fuente de calor, la cual fue colocada al extremo del receptor y acorde a los tiempos y a la temperatura alcanzada por la resistencia, se analizó la temperatura en la sección transversal del tubo (Tabla 1).

En las siguientes tablas (1, 2 y 3) se presentan los resultados obtenidos del comportamiento térmico del tubo de acero de 1 ¼ pulgadas de diámetro seleccionado.

##### 8.4.1.1 Prueba térmica del tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 30 cm de longitud

Una vez seleccionado el diámetro de la tubería, se sometieron a pruebas térmicas diferentes longitudes de tubo para medir la temperatura a lo largo de la tubería (Fig. 2).



**Figura 2.** Tubo de 1 ¼ pulgadas de 30 cm de longitud.

Los registros de temperatura se realizaron a partir de la fuente de calor, cada cinco centímetros a intervalos de tiempo de cinco minutos, y diferentes longitudes de tubo, 30 cm, 20 cm y 15 cm, buscando así la longitud adecuada para obtener el prototipo funcional del colector de calor, de acuerdo con las temperaturas alcanzadas por nuestro sistema de concentración solar.



**Figura 3.** Temperatura nominal para prueba 1.

Se fijó como temperatura nominal de prueba los 500 °C. Para cada una de las longitudes se fijó la misma temperatura de prueba y hasta que se alcanzaba dicha temperatura (es decir, hasta que el sensor marcaba los 500 °C alcanzados) se tomaron los diferentes tiempos de análisis, los cuales se presentan en la siguiente tabla (1):

**Tabla 1.** Prueba térmica del tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 30 cm de longitud.

| TIEMPO<br>(Minutos) | DISTANCIA |        |        |       |       |       |
|---------------------|-----------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                     | Fuente    | 5 cm   | 10 cm  | 15 cm | 20 cm | 25 cm |
| <b>5</b>            | >500 °C   | 145 °C | 72 °C  | 48 °C | 40 °C | 37 °C |
| <b>10</b>           | >500 °C   | 181 °C | 118 °C | 69 °C | 51 °C | 46 °C |
| <b>15</b>           | >500 °C   | 191 °C | 147 °C | 74 °C | 54 °C | 48 °C |
| <b>20</b>           | >500 °C   | 200 °C | 132 °C | 89 °C | 63 °C | 55 °C |
| <b>25</b>           | >500 °C   | 195 °C | 123 °C | 87 °C | 64 °C | 56 °C |
| <b>30</b>           | >500 °C   | 191 °C | 125 °C | 84 °C | 64 °C | 56 °C |

Como se puede observar en la tabla 1, después de los 10 minutos se tiene pérdidas en la temperatura alcanzada, concluyendo que puede ser debido a que una vez que se alcanzan los 500 °C, el sensor le manda una señal al pirómetro para que éste interrumpa el flujo de energía, y es hasta que se tienen pérdidas de aproximadamente 2 °C cuando se vuelve a accionar y reanuda el flujo de energía.

#### 8.4.1.2 Prueba térmica de tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 20 cm de longitud

Ya habiendo realizado las pruebas térmicas con la tubería de 30 cm, se continuó con las pruebas, ahora con la tubería de 20 cm de longitud (Fig. 5), seguimiento de la misma metodología de los 500 °C como temperatura nominal. Los resultados se presentan en la tabla 2.



**Figura 4.** Prueba 2 a tubo de 20 cm de longitud.

**Tabla 2.** Prueba térmica de tubo de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 20 cm de longitud.

| TIEMPO<br>(Minutos) | DISTANCIA |        |        |        |
|---------------------|-----------|--------|--------|--------|
|                     | Fuente    | 5 cm   | 10 cm  | 15 cm  |
| <b>5</b>            | >500 °C   | 148 °C | 76 °C  | 45 °C  |
| <b>10</b>           | >500 °C   | 160 °C | 101 °C | 72 °C  |
| <b>15</b>           | >500 °C   | 170 °C | 117 °C | 90 °C  |
| <b>20</b>           | >500 °C   | 178 °C | 123 °C | 94 °C  |
| <b>25</b>           | >500 °C   | 182 °C | 126 °C | 98 °C  |
| <b>30</b>           | >500 °C   | 182 °C | 126 °C | 100 °C |

Como podemos observar, haciendo un pequeño análisis de la tabla 2, a partir de los 20 minutos es donde se puede observar un aumento prácticamente nulo en cuanto a la transferencia de calor, por lo que se puede concluir que el tubo ha llegado a su pico de transferencia de calor.

#### 8.4.1.3 Prueba térmica de tubo 1 ¼ pulgadas de diámetro y 15 cm de longitud

Finalizando con las pruebas térmicas a la tubería de 1 ¼", se analizó la distribución térmica de la tubería de 15 cm, (Fig. 5) siguiendo la misma metodología realizada anteriormente con los tubos de 20 y 30 cm, los resultados se presentan en la tabla 3.



**Figura 2.** Prueba 3 a tubo de 15 cm de longitud.

**Tabla 3.** Prueba térmica de tubería 1 ¼ pulgadas de diámetro y 15 cm de longitud.

| TIEMPO<br>(Minutos) | DISTANCIA |        |        |
|---------------------|-----------|--------|--------|
|                     | Fuente    | 5 cm   | 10 cm  |
| 5                   | >500 °C   | 150 °C | 78 °C  |
| 10                  | >500 °C   | 178 °C | 117 °C |
| 15                  | >500 °C   | 194 °C | 139 °C |
| 20                  | >500 °C   | 196 °C | 146 °C |
| 25                  | >500 °C   | 197 °C | 148 °C |
| 30                  | >500 °C   | 199 °C | 148 °C |

Como podemos observar, a partir de los 15 minutos el incremento en la temperatura a lo largo del tubo es prácticamente mínimo, por lo que se puede concluir en esta medición que después de los 15 minutos el tubo alcanza su tasa máxima de transferencia de calor.

## 8.4.2 Material utilizado para pruebas térmicas

### 8.4.2.1 Relevador Estado Sólido de 40A



**Figura 3.** Relevador de Estado Sólido 40A

El relevador de estado sólido modelo SSR-40 es un dispositivo electrónico el cual nos es de utilidad para interrumpir el flujo o paso de la energía eléctrica cuando se ingresa voltaje en sus pines de entrada INPUT.

Este relé sirve para controlar cargas de corriente alterna (AC) o corriente directa (DC) de hasta 40 Amperios (A) dependiendo el modelo. A diferencia de otros dispositivos relés tradicionales, éste no emite ruidos, vibraciones o interferencia eléctrica. A continuación, se presentan en la figura 7 y Tabla 4 la configuración y ficha técnica del relevador utilizado:



**Figura 4.** Configuración electrónica del revelador utilizado.

**Tabla 4.** Especificaciones técnicas relevador estado sólido 40A.

| Especificaciones   |                            |
|--------------------|----------------------------|
| Modelo:            | SSR-40 DA                  |
| Tipo de relevador: | DA (Control DC - Carga AC) |

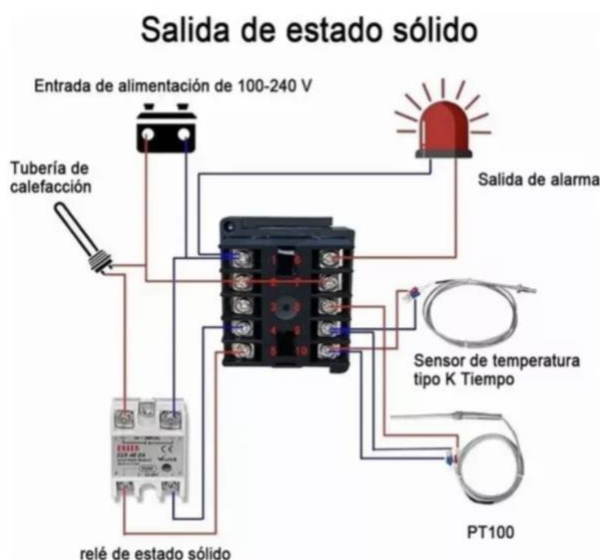
|                                  |                                          |
|----------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Voltaje</b>                   | Control: DC:3 - 32V, Carga: AC 24 – 380V |
| <b>Corriente de conmutación:</b> | 40 A.                                    |
| <b>Peso:</b>                     | 95 gr.                                   |

#### 8.4.2.2 Pirómetro Digital modelo REX-C100FK07-V\*AN



**Figura 5.** Pirómetro digital REX-C100

Es un dispositivo electrónico el cual cumple con la función de controlar el rango de temperatura en la que el sensor detecta que está el objeto en medición. Posee una larga vida útil ya que es resistente a la oxidación, además de poseer una alta precisión y respuesta rápida a las mediciones realizadas. A continuación, en la figura 9 se muestran la configuración y ficha técnica del producto en la tabla 5:



**Figura 6.** Configuración electrónica del pirómetro

**Tabla 5.** Especificaciones técnicas pirómetro digital REX-C100

| Especificaciones            |                   |
|-----------------------------|-------------------|
| <b>Marca</b>                | CKC TINNER        |
| <b>Modelo</b>               | REX-C100FK07-V*AN |
| <b>Rango de temperatura</b> | 0 °C – 1,300 °C   |

|                               |                                          |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Alimentación</b>           | 100-240 VAC, 50HZ/60HZ                   |
| <b>Precisión de la medida</b> | +5% FS                                   |
| <b>Resolución</b>             | 14 bits                                  |
| <b>Ciclo de muestreo</b>      | 0.5 seg                                  |
| <b>Salida</b>                 | SSR                                      |
| <b>Medidas</b>                | Largo:100 mm x ancho: 48 m x alto: 48 mm |
| <b>Peso</b>                   | 115.0 gr.                                |
| <b>Material</b>               | Plástico                                 |

#### 8.4.2.3 Termopar tipo J



**Figura 7.** Termopar tipo J

Consta de un cable de aproximadamente 80 cm para medir temperaturas de hasta 500 °C en unos de sus extremos, ya que por un lado se tiene el sensor metálico y del otro extremo se tiene las puntas que van conectadas al dispositivo de medición, ya que al ser un dispositivo electrónico universal, esto nos permite conectarlo a cualquier equipo que admita estos sensores.

#### 8.4.2.4 Resistencia eléctrica tipo parrilla



**Figura 8.** Resistencia eléctrica tipo parrilla.

Es una resistencia de tipo tubular en espiral, diseñado para aplicaciones generales de calentamiento. A continuación, en la tabla 6 se muestran las características:

**Tabla 6.** Especificaciones generales resistencia eléctrica tipo parrilla.

| Características |
|-----------------|
|-----------------|

|                                   |                                      |
|-----------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Diámetro:</b>                  | 190.50 mm.                           |
| <b>Medidas:</b>                   | Tubular ¼" (6.35 mm)                 |
| <b>Potencia máxima entregada:</b> | 2,600 W                              |
| <b>Voltaje de alimentación:</b>   | 120V y 220V                          |
| <b>Aplicaciones:</b>              | Conceptos generales de calentamiento |
| <b>Material:</b>                  | 80% Níquel, 20% Cromo                |

#### 8.4.2.5 Disco metálico



**Figura 9.** Base de prueba para residuos plásticos

Esta pequeña placa de aproximadamente 12 cm de diámetro es de utilidad ya que nos sirvieron de base para poner los envases de plaguicidas ya triturados y someterlos a pruebas térmicas mediante los dispositivos electrónicos y la resistencia tipo parrilla. La resistencia fue colocada por la parte de abajo con una base adicional.

#### 8.4.2.6 Medidor infrarrojo de temperatura



**Figura 10.** Medidor infrarrojo de temperatura marca Truper

Es un dispositivo electrónico con la capacidad de medir la temperatura mediante infrarrojo, y las lecturas son arrojadas en una pantalla digital integrado. Posee una medición precisa de la temperatura y su uso está destinado en el área industrial y automotriz. En este caso éste aparato es destinado para corroborar las mediciones realizadas por el sensor de temperatura tipo J y tener una correcta medición de las temperaturas en las pruebas. A continuación se muestran las especificaciones de este dispositivo:

**Tabla 7.** Especificaciones técnicas de medidor infrarrojo Truper.

| Especificaciones        |                                                             |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Precisión               | -50 °C a 100 °C +3°C, 101 °C – 500 °C +- 1-5% de la lectura |
| Rango de medición       | -50 °C a 500 ° (-50 °F a 932 °F)                            |
| Unidades de temperatura | °C y °F                                                     |
| Resolución              | 0.1 °C / °F                                                 |
| Radio óptico            | 12:1                                                        |
| Clase de láser          | II                                                          |
| Pilas                   | AAA                                                         |
| Apagado automático      | Después de 10 segundos de inactividad                       |
| Peso                    | 97 gr.                                                      |
| Empaque individual      | Estuche                                                     |

#### 8.4.3 Registro de temperatura de fundición del plástico

Como se ha mencionado, se sabe que para que los envases de los plaguicidas puedan someterse al tratamiento final de la disposición de estos residuos (tratamiento termoquímico), deben de someterse con anterioridad a un triple lavado y posterior triturado, esto para facilitar la incineración del mismo envase. Por lo que se procedió a realizarse estos dos pasos para hacer las pruebas en laboratorio del tratamiento térmico de estos residuos.

Se cortaron en pequeñas hojuelas de tamaño aproximado 0.5 cm a 1 cm, para someterse a temperaturas no mayores a 260 °C, esto con la finalidad de evitar emitir humos aún más tóxicos que el mismo plaguicida.



**Figura 11.** Pruebas de comportamiento del plástico.

Se realizó un análisis del comportamiento de estas hojuelas, donde se puede apreciar en la figura 11 que a temperatura de 100 °C no se mostró deformidad alguna. A 150 °C se visualizó un pequeño cambio en su forma debido al aumento de temperatura.



**Figura 12.** Fundición parcial del plástico.

En 200 °C comienza la fundición parcial de las hojuelas, mostrado en la figura 13.

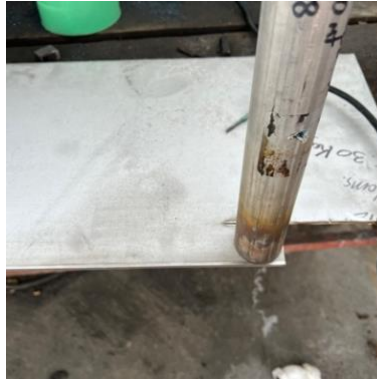


**Figura 13.** Fundición completa del plástico.

Finalmente en 260 °C se puede apreciar un punto de fusión completo del plástico en un tiempo aproximado de 3 minutos, confirmando así la teoría consultada anteriormente respecto punto de fusión de este tipo de material.

## 8.5 Validación del receptor de calor propuesto

Una vez hechas las pruebas al receptor de calor a escala y de analizar la transferencia de calor de éste, se construyó bajo el mismo diseño y materiales el receptor de calor definitivo, sobre el cual se estarán realizando las pruebas de tratamiento con el sistema de concentración solar seleccionado.



**Figura 14.** Medidas para corte en laterales de tubo 1 ¼ pulgadas.

Se utilizó una placa de acero inoxidable del mismo tipo que el tubo, con grosor de aproximadamente 6 mm para tapar los laterales del tubo para tener un mayor aprovechamiento del calor una vez que se exponga a la intemperie y pruebas con el sistema de concentración solar. Después, se utilizaron electrodos especiales para el material utilizado y de procedió a soldar los recortes de la placa. El resultado se muestra en la figura 15.



**Figura 15.** Tubo soldado en laterales con apertura.

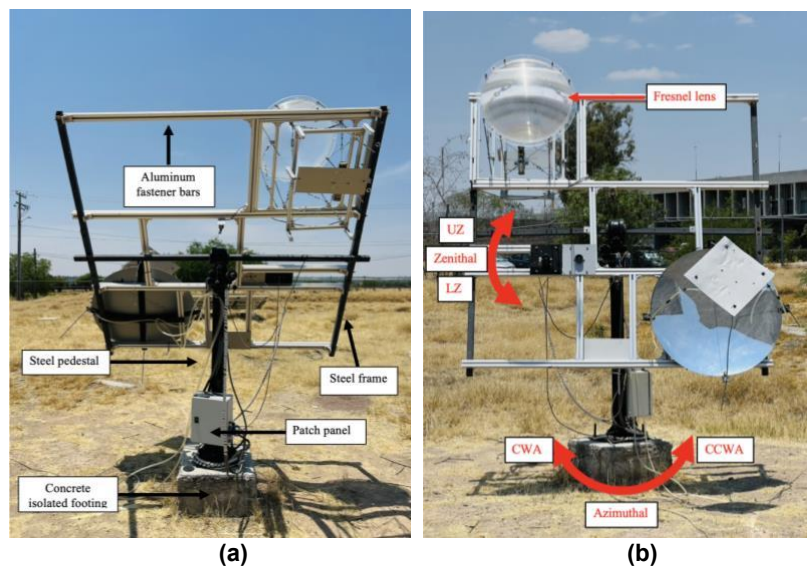
Como último paso, se realizó una pequeña apertura de aproximadamente 3x2 cm que nos permitirá el ingreso del PET triturado al interior del tubo y someterse a las temperaturas alcanzadas por este. El tubo seleccionado para las pruebas con el sistema de concentración es de 20 cm de largo.

## 8.6 Montaje del receptor de calor al sistema de concentración solar

Para la implementación de nuestro sistema de concentración solar para el tratamiento de residuos de plaguicidas, es importante mencionar que el sistema de concentración solar que se empleó es de lente Fresnel, que alcanzó temperaturas superiores a los 700 °C en su punto focal. El sistema de seguimiento solar [47], se presenta a continuación con cada uno de sus componentes:

### *Sistema de seguimiento solar*

Se probaron conjuntamente el sistema de concentración solar Fresnel con seguimiento solar de dos ejes para captar la mayor cantidad de energía solar y así incrementar la temperatura de operación que permita la fundición de los envases de plaguicidas. En la figura 16 se muestra el sistema de seguimiento solar con cada uno de sus componentes:



**Figura 16.** Sistema de seguimiento solar: a) vista trasera, b) vista frontal.

Para la mayor captación de energía solar fue utilizado este sistema de seguimiento solar, el cual posee seguimiento en dos ejes. Los sensores montados en este seguidor mandan señales al controlador. Estas señales posteriormente son interpretadas y en base a valores predeterminados, se realiza el seguimiento de la estructura metálica, accionando los motores y colocando la estructura de forma perpendicular a los rayos solares.



**Figura 17.** Sistema de concentración Fresnel montado al sistema de seguimiento solar.

#### 8.6.1 Localización de la zona de pruebas

Latitud: 21.8443556

Longitud: -102.3439021

MSNM: 2082.5 metros



**Figura 18.** Centro de Investigaciones en Óptica, A.C., Unidad Aguascalientes.

La Infraestructura de la Unidad Aguascalientes del CIO posee 13 laboratorios, los cuales ofrecen servicios para diferentes sectores productivos, enfocados en el desarrollo de proyectos tecnológicos, oferta de capacitación, líneas de investigación en las cuales se encuentran la fotometría, energías renovables, etc., y visitas guiadas para la sociedad.

#### 8.6.2 Obtención de parámetros ambientales en la zona

Debido a que los diferentes parámetros ambientales en la zona como lo son la temperatura, humedad o velocidad del viento pueden representar afectaciones en

nuestro sistema de concentración, se realizó la recolección de estos datos a través de la página web de CONAGUA (CONAGUA, 2024) y se plasman en la tabla 8.

Se puede observar variaciones de diversos factores donde podemos destacar el de radiación, la cual debido a que se presentan nubosidades en la zona, afecta de manera drástica en la radiación directa en la zona. También tenemos velocidades de viento considerables. Todos estos factores se analizará posteriormente en conjunto con las pruebas de calor.

**Tabla 8.** Histórico de condiciones climáticas Aguascalientes.

| <b>Día</b>        | <b>Horario</b> | <b>Temperatura (°C)</b> | <b>Humedad (%)</b> | <b>Velocidad del viento (km/h)</b> | <b>Radiación (W/m²)</b> |
|-------------------|----------------|-------------------------|--------------------|------------------------------------|-------------------------|
| <b>18/03/2024</b> | 12:00 P.M.     | 26.5                    | 13                 | 9.36                               | 1021                    |
|                   | 13:00 P.M.     | 28.4                    | 9                  | 11.52                              | 1067                    |
|                   | 14:00 P.M.     | 29.6                    | 8                  | 14.4                               | 1029                    |
|                   | 15:00 P.M.     | 29.9                    | 9                  | 11.88                              | 891                     |
|                   | 16:00 P.M.     | 29.6                    | 7                  | 19.08                              | 725                     |
| <b>19/03/2023</b> | 12:00 P.M.     | 25.7                    | 22                 | 7.56                               | 520                     |
|                   | 13:00 P.M.     | 29.7                    | 14                 | 12.6                               | 763                     |
|                   | 14:00 P.M.     | 29.8                    | 13                 | 15.12                              | 443                     |
|                   | 15:00 P.M.     | 29.4                    | 12                 | 17.0                               | 420                     |
|                   | 16:00 P.M.     | 29.2                    | 10                 | 13.6                               | 411                     |
| <b>20/03/2024</b> | 12:00 P.M.     | 25.9                    | 20                 | 9.36                               | 571                     |
|                   | 13:00 P.M.     | 28.3                    | 18                 | 5.4                                | 1255                    |
|                   | 14:00 P.M.     | 28.2                    | 19                 | 5.76                               | 1161                    |
|                   | 15:00 P.M.     | 27.6                    | 16                 | 6.48                               | 333                     |
|                   | 16:00 P.M.     | 27.4                    | 16                 | 11.88                              | 253                     |
| <b>21/03/2024</b> | 12:00 P.M.     | 27.3                    | 18                 | 13.32                              | 994                     |
|                   | 13:00 P.M.     | 27.4                    | 19                 | 20.52                              | 1047                    |
|                   | 14:00 P.M.     | 28.8                    | 18                 | 17.64                              | 1002                    |
|                   | 15:00 P.M.     | 29.1                    | 17                 | 18.5                               | 914                     |
|                   | 16:00 P.M.     | 29.5                    | 16                 | 12.3                               | 534                     |
| <b>22/03/2025</b> | 12:00 P.M.     | 24.6                    | 18                 | 6.48                               | 1034                    |
|                   | 13:00 P.M.     | 26                      | 16                 | 10.08                              | 1073                    |
|                   | 14:00 P.M.     | 27.8                    | 13                 | 9.36                               | 1030                    |
|                   | 15:00 P.M.     | 29.2                    | 9                  | 7.92                               | 903                     |
|                   | 16:00 P.M.     | 29.7                    | 8                  | 13.68                              | 603                     |

Nota: hPa es la unidad de medida de presión (hectopascal).

Las temperaturas fueron tomadas en horario de 12:00 P.M. a 16:00 P.M. de la página oficial de Conagua (Conagua, 2024).

### ***8.6.3 Incorporación del disco de acero al sistema de concentración solar***

Para realizar el montaje del disco de acero sobre el que se estarán realizando pruebas de transferencia de calor, fue necesario realizar unas pequeñas perforaciones al disco y a base donde estará ubicada el disco (punto focal) las cuales se muestran en la figura 19. Posterior a esta figura, tenemos la figura 20, la cual nos muestra el montaje del disco de acero a la estructura del lente Fresnel, la cual servirá de apoyo para montarla al sistema de seguimiento solar.



***Figura 19. Perforaciones a disco de acero.***



***Figura 20. Acoplamiento de disco de acero a base para pruebas.***

Una vez montado nuestro disco de pruebas al sistema de concentración solar, se procedió a realizar las pruebas de calor para analizar el comportamiento del material seleccionado en pruebas que posteriormente se realizaron con el receptor.

En la figura 21 se muestra el lente Fresnel, la estructura de soporte para el montaje al sistema de seguimiento solar y el disco de pruebas. Posterior a esto, en la tabla 9 se

muestran las especificaciones técnicas del lente Fresnel utilizado (Green Power Science, 2023).



**Figura 21.** Sistema de concentración Fresnel y disco de acero para pruebas de temperatura.

**Tabla 9.** Especificaciones técnicas lente Fresnel.

|                                 |                                                      |
|---------------------------------|------------------------------------------------------|
| <b>Medidas:</b>                 | 56 cm diámetro                                       |
| <b>Distancia a punto focal:</b> | 99 cm                                                |
| <b>Espesor:</b>                 | 3 mm                                                 |
| <b>Área:</b>                    | 0.2463 m <sup>2</sup>                                |
| <b>Material:</b>                | PMMA (Polímero Termoplástico Altamente Transparente) |
| <b>Capacidad:</b>               | 1,000,000 W/m <sup>2</sup>                           |
| <b>Estructura:</b>              | Perfil de aluminio                                   |

#### 8.6.3.1 Prueba de calor con disco de acero inoxidable

Primeramente, se realizó la prueba de calor con el disco de acero para registrar las temperaturas que ésta puede llegar a alcanzar con el sistema solar de concentración Fresnel. Estos resultados posteriormente se compararon con el disco con recubrimiento para mayor absorción de calor para analizar la diferencia de temperatura alcanzada por cada una de las pruebas del disco.

Para realizar las mediciones de temperatura que alcanzaron los discos de acero, se utilizó un sensor infrarrojo de la marca BOSCH modelo Profesional GIS 1000C mostrado en la figura 22, el cual posee una temperatura máxima de medición de 1,000 °C, además de medir otros factores ambientales como la humedad, temperatura ambiente, puente térmico, etc., mostrados en la ficha técnica del sensor en la tabla 10 (BOSCH Professional, 2021).



**Figura 22.** Sensor infrarrojo de calor.

**Tabla 10.** Especificaciones técnicas de sensor infrarrojo BOSCH Professional GIS 1000C.

|                                |                                                                                       |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Especificaciones:</b>       |                                                                                       |
| <b>Rango de medición</b>       | -40°C a 1,000°C con una variación de $\pm 3^{\circ}\text{C}$                          |
| <b>Cámara integrada</b>        | Muestra y documenta en imágenes instantáneamente los valores determinados de medición |
| <b>Transferencia de datos</b>  | A través de conexión USB A, Bluetooth o la aplicación Bosch Thermal                   |
| <b>Tipo de pantalla</b>        | TFT LCD                                                                               |
| <b>Formato de imagen</b>       | .jpg                                                                                  |
| <b>Peso</b>                    | 0.56 kg                                                                               |
| <b>Baterías</b>                | 12 V recargable o 4 pilas de 1.5 V (AA)                                               |
| <b>Tipo de láser</b>           | Clase 2, 635 nm diodo laser                                                           |
| <b>Protección</b>              | Contra golpes de hasta 1 m                                                            |
| <b>Alcance</b>                 | 0.1m – 5m                                                                             |
| <b>Temperatura de servicio</b> | -20 °C a 70 °C                                                                        |
| <b>Funcionalidades extras</b>  | Entrada para sensor tipo K lista para utilizarse                                      |

Los resultados de las mediciones realizadas se muestran a continuación en la tabla 11, en donde podemos observar las lecturas de la radiación, temperaturas del disco y otros factores ambientales. Podemos observar que la radiación se muestra por encima de los  $1,000 \text{ W/m}^2$ , la temperatura ambiente juega un papel a favor, ya que esta está la mayor parte por encima de los  $30^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, la velocidad del viento muestra bastante variación en las diferentes lecturas tomadas, factor que repercute en el calor del disco y por ende, en su temperatura.

**Tabla 11.** Datos tomados el día 18/Abril/2024.

| Horario  | Temperatura | Temperatura mínima | Temperatura máxima | Radiación             | Temperatura ambiente | Velocidad del viento |
|----------|-------------|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 12:02 PM | 30.1 °C     | 30.1 °C            | 30.1 °C            | 1010 W/m <sup>2</sup> | 30.6 °C              | 6.84 Km/h            |
| 12:14 PM | 221.4 °C    | 85.4 °C            | 225.4 °C           | 1010 W/m <sup>2</sup> | 30.5 °C              | 5.4 Km/h             |
| 12:26 PM | 154 °C      | 106.0 °C           | 255.1 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 31.9 °C              | 7.92 Km/h            |
| 12:38 PM | 233.5 °C    | 105.1 °C           | 239.6 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 32.1 °C              | 6.48 Km/h            |
| 12:50 PM | 251.3 °C    | 98.3 °C            | 257.9 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 31.6 °C              | 11.16 Km/h           |
| 13:02 PM | 225.2 °C    | 60.4 °C            | 156.7 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 32.0 °C              | 11.52 Km/h           |
| 13:14 PM | 236.4 °C    | 62.2 °C            | 171.2 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 32.0 °C              | 8.64 Km/h            |



**Figura 23.** Temperatura inicial del disco de acero sin recubrimiento.

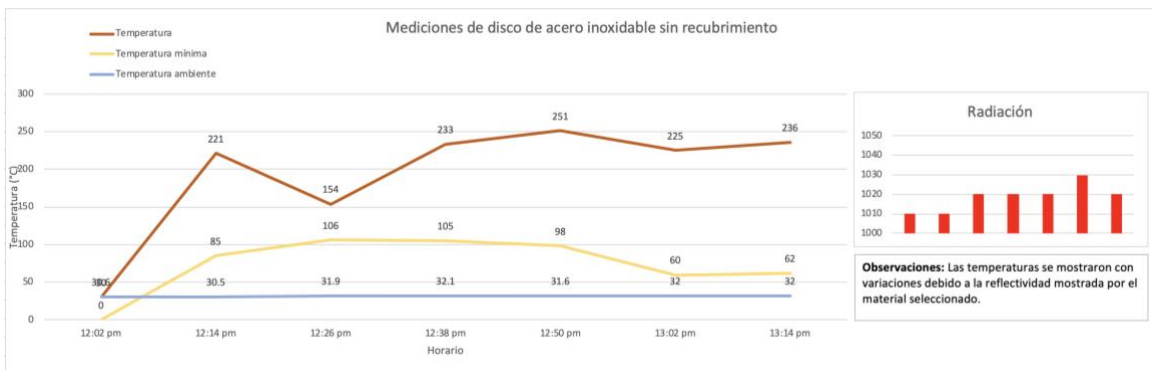


**Figura 24.** Máxima temperatura del disco de acero sin recubrimiento.

Como podemos observar en la figura 23, tenemos una temperatura inicial del disco de acero de 30.1°C, en donde prácticamente está a la misma temperatura que la temperatura ambiente. En la figura 24 se observa una temperatura de poco más de 250°C, que es la temperatura máxima alcanzada por nuestro disco de acero. A pesar de ser una temperatura en la que se podría llevar a cabo la fundición de los envases de plaguicidas, se puede lograr una mayor temperatura ya que debido a que el disco es de acero inoxidable, presenta propiedades reflectivas. En imágenes posteriores se realizará

una comparación con el mismo disco de acero recubierto con un esmalte de alta temperatura para ver la diferencia de temperaturas logradas.

En la figura 25 podemos apreciar de forma gráfica las diferentes temperaturas que tenemos en nuestro disco de acero, la radiación al momento de las lecturas y observaciones en los demás factores climáticos como lo es el viento. La temperatura ambiente está determinada por la línea azul, la temperatura mínima del disco por la línea amarilla y la roja nos indica la temperatura máxima. En el punto de las 12:50 P.M. podemos visualizar que se alcanzó el punto máximo de la temperatura de nuestro disco. Sin embargo, esta gráfica muestra variaciones considerables debido a la velocidad del viento presentada a lo largo del día y del momento de las lecturas de temperatura del disco. Posteriormente se analizaron las temperaturas del disco de acero con el esmalte de alta temperatura mediante la misma metodología.



**Figura 25.** Gráfica de temperaturas de disco de acero sin recubrimiento.

#### 8.6.3.2 Prueba de calor con disco de acero inoxidable sin sustrato y recubrimiento absorbente calórico



**Figura 26.** Esmalte en aerosol de alta temperatura.

Esta prueba se realizó con un recubrimiento especial de alta temperatura, de hasta 650°C, debido a que el material seleccionado para la construcción del colector muestra propiedades reflectivas. Es por esto que se optó por recubrir el disco con el esmalte para analizar la diferencia de calor absorbida entre el disco sin este recubrimiento y con el

mismo. Las mediciones de temperatura del disco de acero con recubrimiento, radiación y los demás parámetros se muestran a continuación en la tabla 12:

**Tabla 12.** Datos tomados el día 3/mayo/2024.

| Horario  | Temperatura | Temperatura mínima | Temperatura máxima | Radiación             | Temperatura ambiente | Velocidad del viento |
|----------|-------------|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 11:02 AM | 30.3 °C     | 30.3 °C            | 30.3 °C            | 1020 W/m <sup>2</sup> | 25.9 °C              | 7.2 Km/h             |
| 11:14 AM | 464.6 °C    | 201.3 °C           | 470.0 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 26.5 °C              | 7.56 Km/h            |
| 11:27 AM | 476.9 °C    | 250.5 °C           | 482.0 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 27.0 °C              | 6.12 Km/h            |
| 11:38 AM | 474.8 °C    | 251.0 °C           | 481.0 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 26.2 °C              | 6.48 Km/h            |
| 11:50 AM | 474 °C      | 250.6 °C           | 481.7 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 26.2 °C              | 6.84 Km/h            |
| 12:12 PM | 501.5 °C    | 277.1 °C           | 503.2 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 29.5 °C              | 6.48 Km/h            |
| 12:35 PM | 488.2 °C    | 208.8 °C           | 492.9 °C           | 1030W/m <sup>2</sup>  | 30.7 °C              | 7.56Km/h             |
| 12:57 PM | 521.5 °C    | 230.7 °C           | 529.0 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 30.9 °C              | 12.56 Km/h           |
| 13:19 PM | 493.7 °C    | 197.2 °C           | 497.4 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 31.7 °C              | 9.36 Km/h            |
| 13:42 PM | 480.8 °C    | 296.0 °C           | 490.9 °C           | 1020 W/m <sup>2</sup> | 32.3 °C              | 12.56 Km/h           |
| 14:02 PM | 487.2 °C    | 251.3 °C           | 489.7 °C           | 1030 W/m <sup>2</sup> | 32.9 °C              | 10.44 Km/h           |

Siguiendo con la metodología para la medición de la temperatura del disco de acero, éstas se llevaron a cabo en el mismo horario pero en día diferente. Podemos observar una temperatura inicial del disco, al igual que en las pasadas mediciones, de poco más de 30°C. Sin embargo, se puede apreciar un cambio significativo en las temperaturas alcanzadas por nuestro disco de acero, en donde se comportó de forma constante y con una temperatura máxima de poco más de 520°C, siendo una temperatura de poco más del doble de la máxima alcanzada por el mismo disco de acero sin recubrimiento. Este análisis nos fue de utilidad para posteriormente recubrir el receptor de calor y lograr temperaturas adecuadas para lograr nuestro objetivo.

Corroborando los datos de la tabla se tienen las imágenes capturadas de las mediciones de temperatura de nuestro disco, mostrando en la figura 27 la temperatura inicial del disco y en la figura 28 la temperatura máxima alcanzada por el mismo disco.

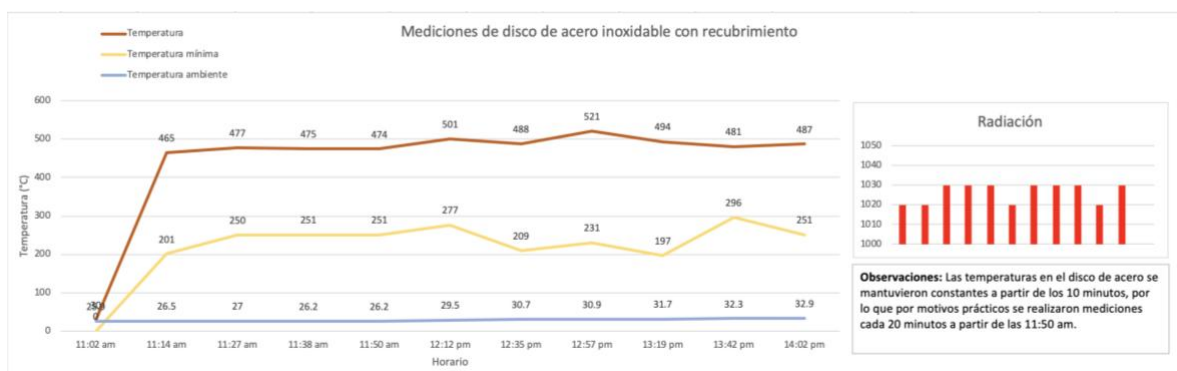


**Figura 27.** Temperatura inicial del disco de acero con recubrimiento.



**Figura 28.** Temperatura máxima del disco de acero con recubrimiento.

Una vez obtenidos los valores de temperatura del disco, radiación, velocidad del viento, etc., además de las lecturas de temperatura del disco capturadas, se procedió a mostrar de forma gráfica estos valores. A continuación, en la figura 29 en donde podemos apreciar la temperatura máxima de nuestro disco (línea roja), la cual se comporta de forma constante, bastante más a comparación de la figura 25 mostrada anteriormente que nos muestra las lecturas del disco sin el recubrimiento. La línea amarilla la temperatura mínima capturada por el lector infrarrojo de temperatura y finalmente la línea azul muestra la temperatura ambiente, la cual se muestra de forma constante de igual forma. Del lado derecho podemos observar la radiación del lugar de pruebas, la cual se mostró entre los 1,020 y 1,030 W/m<sup>2</sup> siendo de igual forma constante a diferencia de la velocidad del viento, la cual aumentó y podemos observar en la tabla 12.

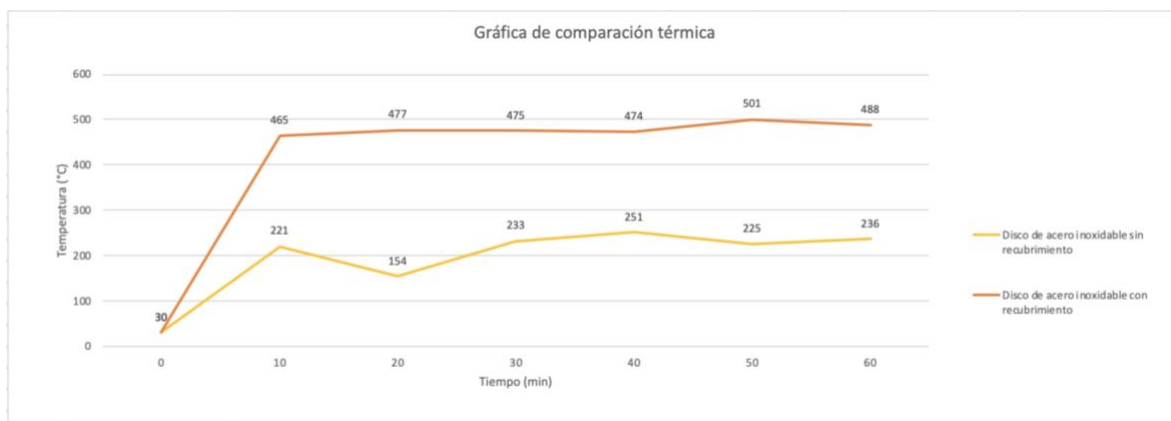


**Figura 29.** Gráfica de temperaturas de disco de acero con recubrimiento.

#### 8.6.4 Comparación de comportamiento térmico disco de acero sin recubrimiento vs disco de acero con recubrimiento.

Finalizando con las gráficas del disco de acero, a continuación en la figura 30 observamos la comparación entre las lecturas de temperatura del disco de acero con recubrimiento vs el mismo disco sin el recubrimiento, siendo la línea naranja el disco con recubrimiento y la amarilla el disco sin recubrimiento. Podemos apreciar, como lo vimos en las graficas anteriores, un aumento de poco más del doble de temperatura de nuestro disco de pruebas, y un comportamiento constante de la misma, esto gracias al esmalte de alta temperatura que evita que los rayos solares se reflejen debido a las mismas propiedades del disco, teniendo así un aumento significativo en la temperatura del disco y por ende, una mejor conservación de la misma.

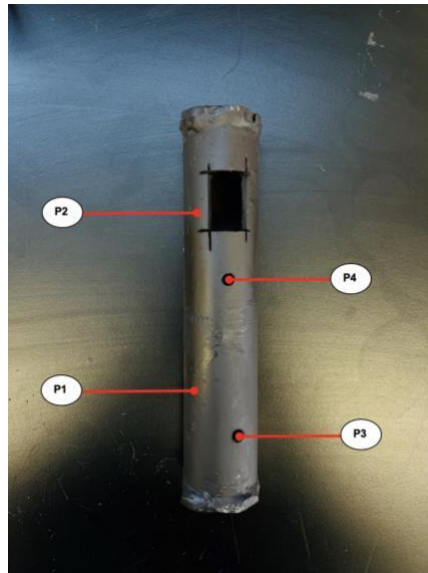
Este aumento de temperatura pudiera significar un factor muy importante en la fundición de los residuos que se someterán a dichas temperaturas. Más adelante se sometió nuestro receptor de calor a las mismas pruebas para determinar el comportamiento del mismo.



**Figura 30.** Gráfica de comparación de disco de acero sin recubrimiento vs disco de acero con recubrimiento.

## 8.7 Pruebas de calor a receptor de calor

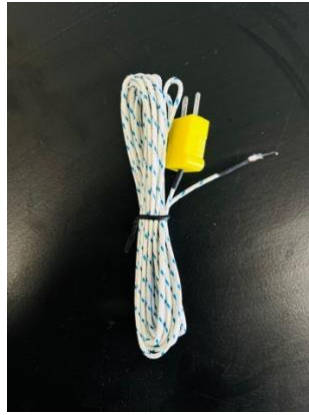
Debido a las propiedades reflectivas que tiene el material utilizado en la construcción del receptor de calor (acero inoxidable), se decidió recubrirlo con un esmalte especial de alta temperatura, con capacidad de operar a temperaturas de aproximadamente 650 °C, esto para aprovechar la mayor cantidad de rayos que inciden sobre nuestro receptor de calor y que no se reflejen sobre su superficie. En la figura 31 se muestra el receptor de calor ya cubierto con este esmalte especial.



**Figura 31.** Puntos de medición de temperatura en el receptor.

Para realizar las mediciones de temperatura en nuestro receptor de calor, se determinaron 4 puntos de medición, en donde en los puntos P1, P2 se midieron las temperaturas externas del receptor; en los puntos P3, P4 a través de unas perforaciones midieron las temperaturas en el interior del receptor, esto debido a que la temperatura de interés se encuentra al interior del tubo, en donde debe ser superior a los 250 °C para poder fundir el plástico de los envases de plaguicidas.

Debido a que el sensor infrarrojo BOSCH GIS 1000C tiene soporte para sensor de temperatura tipo K, esto nos ayuda bastante debido a que los sensores infrarrojos no son de utilidad para medir la temperatura al interior del receptor. A través de las perforaciones realizadas, es decir los puntos P3, P4 es como introducimos la punta del sensor para que mida la temperatura por dentro. Debido a que este sensor (figura 32) tiene una temperatura máxima de operación de 700 °C, nos da un excelente rango de medición en caso de que nuestro receptor hubiese alcanzado dichas temperaturas en su interior.



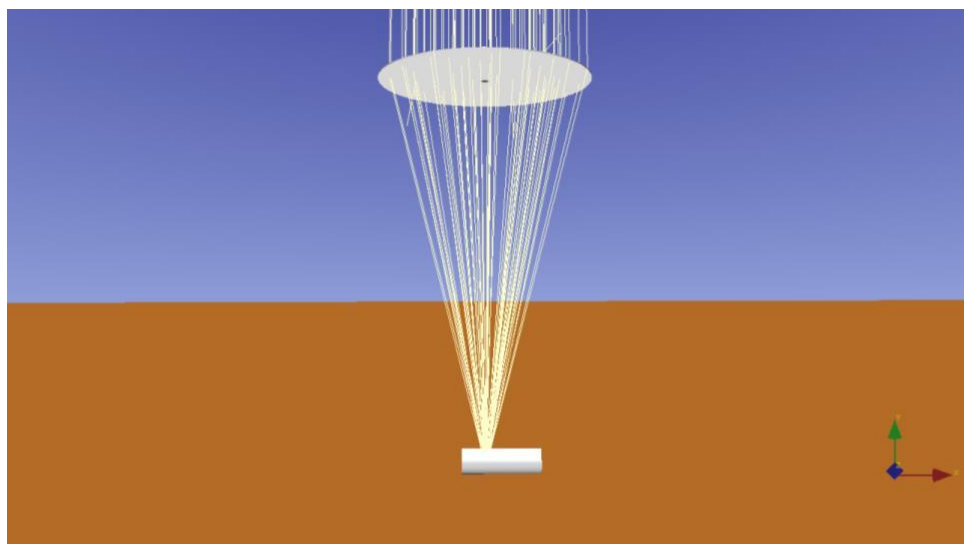
**Figura 32.** Sensor de temperatura tipo K.

## 9.- RESULTADOS

### *Análisis óptico-energético del sistema de concentración solar*

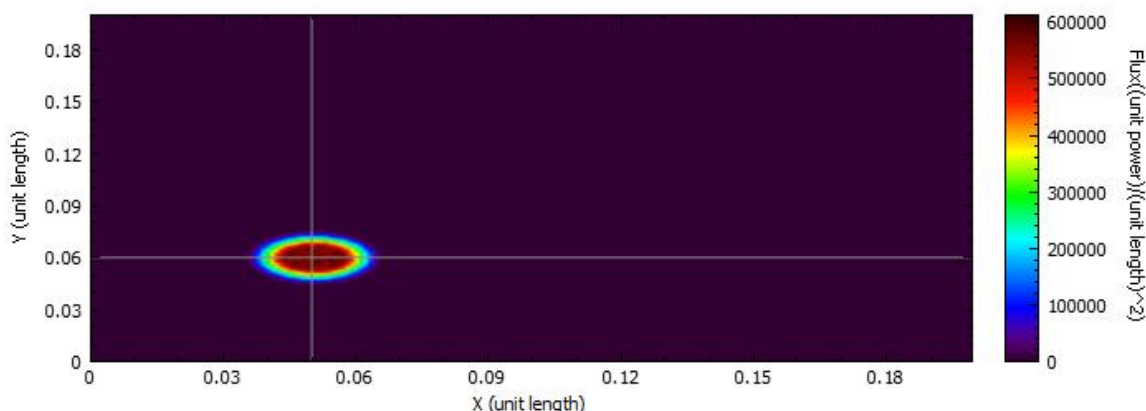
Para analizar el comportamiento de los rayos solares a través del sistema solar de concentración Fresnel, el flujo de los rayos a través del mismo y la forma en la que se distribuyen en el receptor de forma tubular, se realizó la simulación en el software de trazado de rayos llamado Tonatiuh, el cual es de bastante utilidad ya que es un software destinado para este tipo de análisis.

Como podemos observar en la figura 33, se muestra la simulación en el software Tonatiuh, en donde se pone a prueba el receptor de calor con las medidas de 1 ¼ pulgadas de diámetro y 20 centímetros de largo y se inciden los rayos sobre uno de sus lados, entre el centro y el lado izquierdo del receptor. De igual forma, se utilizó en la simulación el lente utilizado para las pruebas reales, con las características físicas del lente Fresnel, las cuales se describieron anteriormente. Se puede observar en la imagen algunos de los rayos que no son redirigidos a través de la superficie del lente, ya que debido a su emisividad del 92%, no todos los rayos pueden ser dirigidos al punto focal donde se encuentra el receptor de calor.



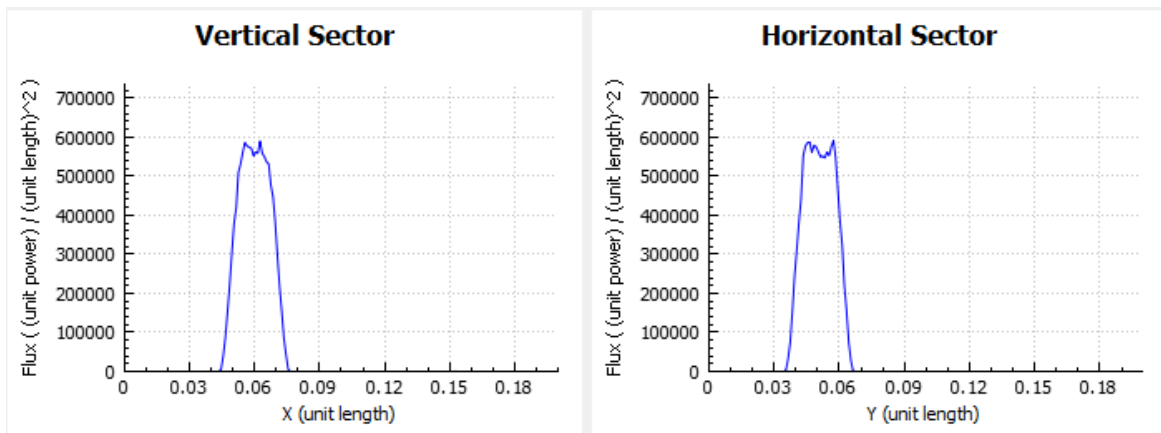
**Figura 33.** Incidencia de fotones en el receptor de calor en posición perpendicular al sol.

En la simulación se definió un error de seguimiento de 0%, debido a que el lente es utilizado en conjunto con el sistema de seguimiento solar para que se encuentre siempre de forma perpendicular a los rayos solares. En la figura 34 se observa la distribución de fotones en el receptor la cual es de forma puntual, ya que en toda la imagen se muestra en 2D la forma cilíndrica de nuestro receptor, donde se tiene un flujo máximo de 600,000 W/m<sup>2</sup>. Posteriormente, con los parámetros arrojados de energía del software Tonatiuh se realizó un análisis en el software Ansys para simular la transferencia de calor a lo largo de nuestro receptor a través del tiempo.



**Figura 34.** Distribución del flujo de rayos solares en receptor de calor.

Complementario a la figura 34, en la figura 35 de muestra de forma gráfica la distribución de los fotones en donde el pico es de alrededor de 600,000 W/m<sup>2</sup>. A continuación en la siguiente tabla se muestra los datos de esta distribución de fotones.



**Figura 35.** Comportamiento del punto focal en el receptor en los ejes X, Y.

Siguiendo con los datos arrojados una vez realizada la simulación en Tonatiuh, a continuación se muestra en la tabla 13 los valores de flujo de energía, en donde podemos destacar el valor total de flujo, el cual es de 215.28 W/m<sup>2</sup>, al igual que el flujo promedio en el área marcada por las coordenadas que nos arroja un valor de 5,395.88 W/m<sup>2</sup>, el flujo máximo que supera los 600,000 W/m<sup>2</sup> y finalmente las coordenadas donde se encuentra el flujo máximo, que es entre las 0.0523 y 0.0575. Estos datos recordemos que son arrojados en coordenadas X,Y debido al desglose de nuestro receptor 3D en estas coordenadas.

**Tabla 13.** Datos de concentración de fotones en receptor.

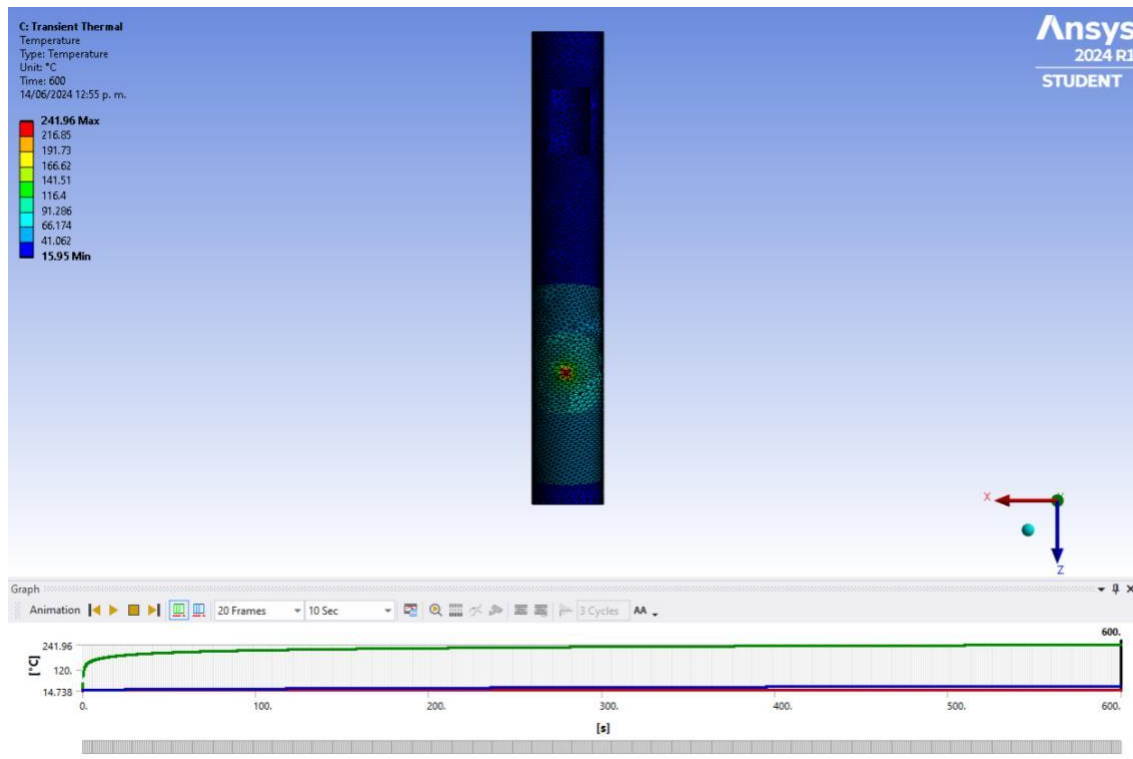
| Datos                            | Valores              |
|----------------------------------|----------------------|
| <b>Total power:</b>              | 215.286              |
| <b>Minimum flux:</b>             | 0                    |
| <b>Average flux:</b>             | 5395.88              |
| <b>Maximum flux:</b>             | 612846               |
| <b>Maximum flux coordinates:</b> | 0.0523664; 0.0575    |
| <b>Error:</b>                    | 2.5e-05              |
| <b>Uniformity:</b>               | 8.89988              |
| <b>Centroid</b>                  | 0.0508196; 0.0600022 |

### *Análisis de flujo de energía en el software Ansys*

Para realizar el complemento a la simulación anterior, se eligió el software Ansys, ya que este fue utilidad para analizar de forma gráfica y en 3D, la transferencia de calor a lo largo del tiempo. Primeramente se diseñó de nueva cuenta el receptor de calor con las dimensiones del receptor de calor real, posterior a esto se definió el material del mismo

(acero inoxidable); esto es de suma importancia, ya que definir el material de nuestro receptor nos ayudó a tener resultados más precisos de transferencia de calor.

Una vez definidas las dimensiones y el material de nuestro receptor, se sometió a al análisis de *flujo de calor*, definiendo como parámetros para la simulación datos proporcionado por el software Tonatiuh. En la figura 36 se muestra cómo es que esta energía que recibe de nuestro sistema solar de concentración se distribuye a lo largo de nuestro receptor de calor.



**Figura 36.** Simulación de flujo de calor en el receptor.

Estimando un tiempo de análisis de 10 minutos en donde se puede apreciar del lado izquierdo el valor máximo y mínimo de temperatura, en donde el valor máximo es de 241.96 °C una vez transcurrido este tiempo. En la parte inferior se puede apreciar la gráfica en donde se muestra cómo es este aumento de temperatura a lo largo de los 10 minutos (en la gráfica se muestran 600 segundos ya que el tiempo es medido por el software en segundos). Estas simulaciones fueron de utilidad para comparar con las pruebas reales a nuestro receptor de calor con parámetros que el software no toma en cuenta, como lo son temperatura ambiente, flujo de viento, nubosidad, entre otros factores que nos representan pérdidas de calor.

#### *Descripción de la experimentación realizada.*

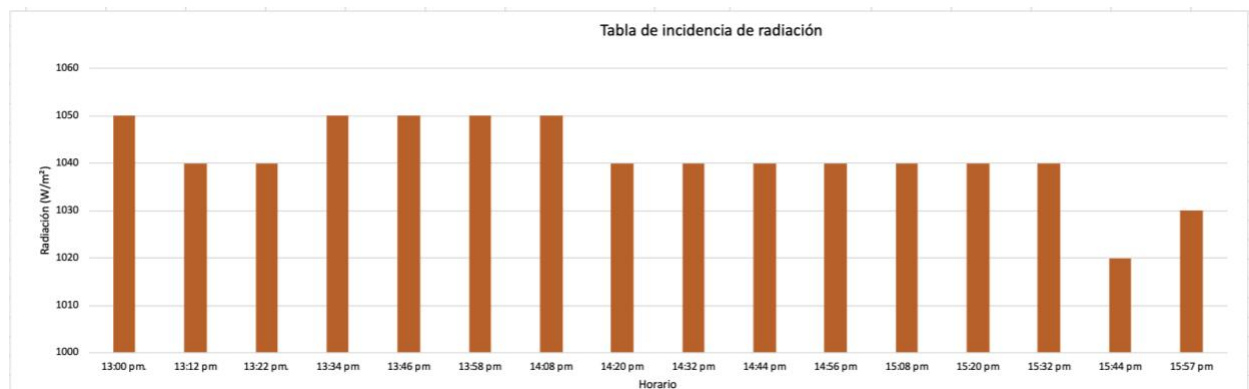
Para realizar las mediciones de temperatura de nuestro receptor de calor, se realizó en un horario de 1:00 P.M. a 4 P.M. en los días 15 de mayo del 2024 para los puntos P1, P2 y 16 de mayo del 2024 para los puntos restantes P3 y P4. En los dos días de las

mediciones se presentaron condiciones de viento no favorables, las cuales superaron los 10 km/h en ambos días, por lo que esto probablemente repercutió en la temperatura máxima alcanzada por el receptor.

Las mediciones mencionadas se llevaron a cabo con un sensor infrarrojo el cual posee una tasa de precisión de  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ , teniendo como punto máximo de medición los  $1,000^{\circ}\text{C}$ , siendo bastante preciso e ideal para medir la temperatura del receptor.

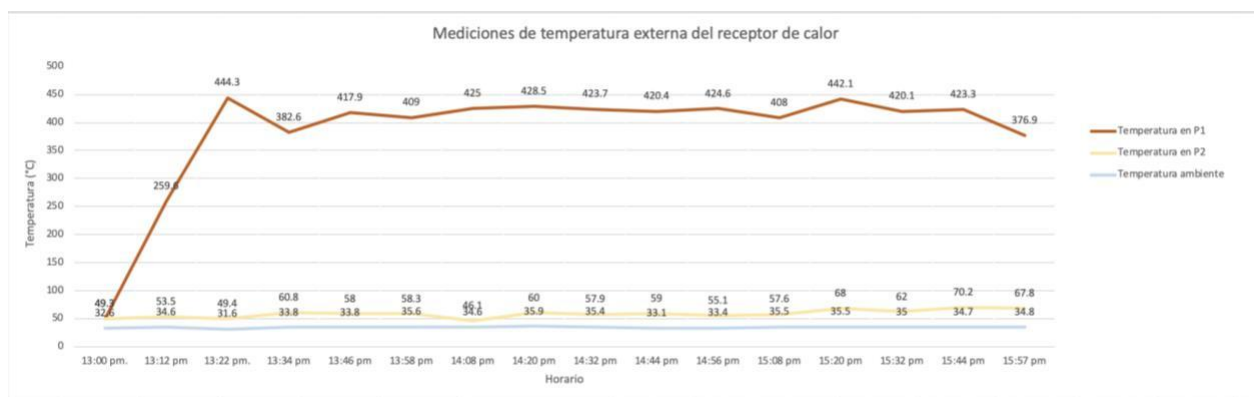
### *Análisis de las gráficas generadas de las mediciones de temperatura del receptor y simulaciones realizadas.*

A continuación, en la figura 38 se muestran los valores de incidencia de radiación el día 15 de mayo, tomados al momento de realizar las lecturas de medición de temperatura las cuales se muestran en la figura 39. Aquí podemos observar que se aprecia una constancia en los valores de radiación, siendo el valor más bajo a las 15:44 P.M. de  $1,020\text{ W/m}^2$  y el valor más alto de  $1,050\text{ W/m}^2$ , valor que se refleja en diferentes horarios.



**Figura 38.** Valores de incidencia solar recogidos del día 15 de mayo del 2024.

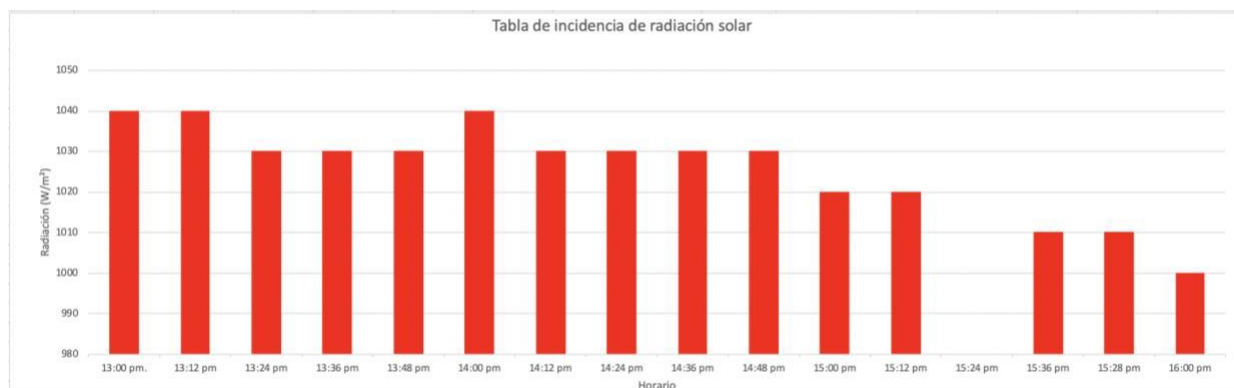
Estos valores de radiación pueden ser apreciables en los valores de temperatura que nos arroja la figura 39, en donde de nueva cuenta, se muestra una constancia en las lecturas tomadas. Podemos observar los valores de temperatura en el P1, que es la línea roja, mientras que la línea amarilla nos representa la temperatura en el P2, finalizando con la línea roja la cual es la temperatura ambiente. Gracias al esmalte de alta temperatura se logra una temperatura de poco más de  $440^{\circ}\text{C}$  en el punto P1, aunque de igual forma podemos destacar los demás valores de la misma línea, los cuales se muestran constantes. Posteriormente se muestran las mismas lecturas pero al interior de nuestro receptor.



**Figura 39.** Temperatura en los puntos P1, P2 y ambiental en el día 15 de mayo del 2024.

Como se puede apreciar en la gráfica, en el P1, que es donde se encuentra el punto focal, se alcanzaron temperaturas de hasta 444 °C en los primeros 20 minutos de haber iniciado las pruebas. A partir de ahí las temperaturas fueron constantes entre las 13:46 P.M. hasta las 15:44 P.M.

A continuación, se muestra en la figura 40 los valores de incidencia solar tomados al día 16 de mayo del 2024, los cuales se muestra un poco más de variación a comparación del día anterior, teniendo valores de entre 1,040 W/m<sup>2</sup> y 1,010 W/m<sup>2</sup> mayormente. De igual forma, como en las mediciones anteriores, se realizó en un horario de 13:00 P.M. a 16:00 P.M.



**Figura 40.** Valores de incidencia solar recogidos del día 16 de mayo del 2024.

En la figura 41 se muestra las mediciones realizadas al interior del receptor de calor, en donde se tuvieron bastantes variaciones a comparación de las lecturas arrojadas al exterior del receptor, en el punto P1, P2 debido a las velocidades del viento que eran en promedio, superiores a los 9 km/h. De igual forma, las diferentes líneas nos muestran valores de temperatura en el punto 3 y punto 4.

En condiciones donde el viento no representaba afectaciones a las mediciones realizadas, en la hora 14:24 P.M. se llegó a la temperatura de poco más de 260 °C, temperatura necesaria para llevar a cabo la fundición de los envases que contienen a los plaguicidas acorde a las pruebas de laboratorio realizadas y a la bibliografía consultada acerca del tema. Posteriormente se hicieron conclusiones respecto a estas condiciones y la viabilidad de llevar a cabo la fundición en un trabajo futuro.

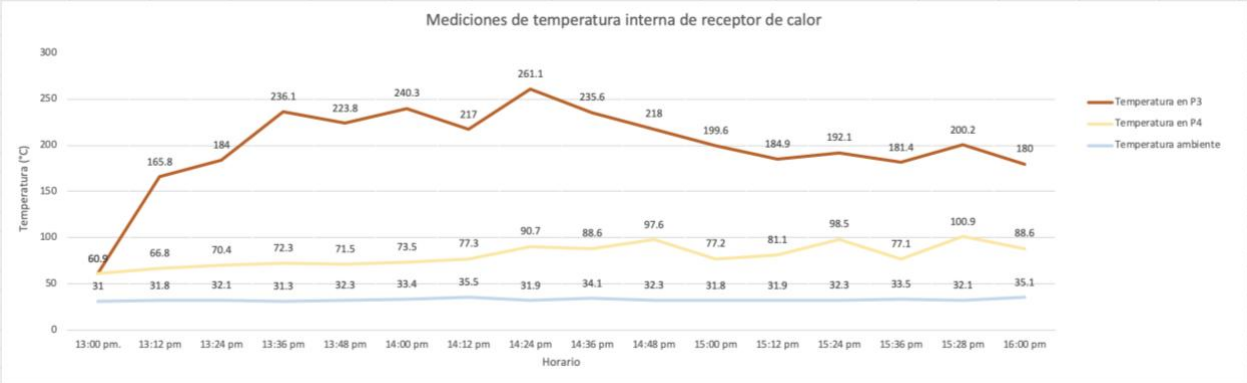


Figura 41. Temperatura en los puntos P3, P4 y ambiental en el día 16 de mayo del 2024.

## 10.- CONCLUSIONES

Acorde a las simulaciones realizadas en el software Tonatiuh para poder visualizar de forma gráfica la distribución del flujo de rayos solares, el pico de energía en nuestro receptor de calor, el flujo de energía promedio en nuestro punto focal, y las simulaciones realizadas en el software Ansys para analizar la transferencia de calor a través de toda la sección del receptor con los datos proporcionados por el software Tonatiuh, se compararon estas simulaciones con las pruebas reales de temperatura de nuestro receptor. Las pruebas reales son bastante similares a las que nos arrojó Ansys, a pesar que en las pruebas se presentaron condiciones ambientales las cuales no podemos controlar y representan pérdidas de calor en nuestro receptor (nubosidad, condiciones de viento, temperatura ambiente, etc.). En la simulación en Ansys se tienen temperaturas máximas de 241.96 °C en un lapso de 10 minutos, a comparación de los 259.6 °C que nos arrojaron las mediciones realizadas, siendo temperaturas bastante similares y mostrando así la fiabilidad tanto de las simulaciones como de las mediciones hechas en condiciones reales.

La implementación de un sistema de concentración solar para el tratamiento de los residuos de envases de plaguicidas demostró ser una alternativa viable y sobretodo sostenible a comparación de los métodos tradicionales de disposición de estos residuos, eliminando la dependencia a los combustibles fósiles y minimizando el impacto ambiental que estos ocasionan. Además, las pruebas realizadas demuestran que a la temperatura de 260°C mediante el sistema de concentración, pueden fundir el plástico sin liberar humos tóxicos, garantizando así la seguridad en este proceso final de disposición. Esto no sólo aborda la problemática que se tiene respecto al mal manejo de estos residuos, sino que también impulsa al desarrollo de tecnologías limpias que benefician al medio ambiente. Aunque los resultados obtenidos mediante las simulaciones y pruebas son favorables, es necesario seguir explorando en nuevas alternativas no sólo para la disposición de residuos peligrosos, sino para los residuos sólidos urbanos y en general para cualquier residuo que tenga repercusiones ambientales.

Es por esto que la viabilidad para llevar a cabo este proyecto a una escala mayor es posible, teniendo en cuenta los factores anteriormente mencionados y posibles mejoras que pudieran incluirse en el receptor.

## **11.- CONTRIBUCIONES O RECOMENDACIONES**

Conforme se realizó la metodología del proyecto, en cada una de sus etapas se detectaron algunas de las posibles mejoras que el receptor de calor y sistema de concentración pudieran incluir, las cuales se mencionan a continuación:

- a) Recubrir el receptor de calor con algún aislante térmico que soporte las temperaturas e impida el flujo del viento sobre el mismo.
- b) Utilizar un recubrimiento que soporte temperaturas más altas que el utilizado en las pruebas (El recubrimiento utilizado se desprendía del receptor debido al punto focal superior a 700 °C).
- c) Considerar que debido a que el receptor estará recubierto con algún esmalte y éste imposibilitará el contacto con el agua y aire, la inclusión de algún metal con mejor conductividad térmica sin importar la resistencia a la corrosión.
- d) Realizar mediciones de temperatura en el receptor en mejores condiciones de atmosféricas (nubosidad, viento, etc.).
- e) Probar con diferentes diámetros y longitudes para evaluar las dimensiones idóneas para la aplicación futura que se contempla.

## 12.- CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

| ACTIVIDADES                                                        | CRONOGRAMA DEL PROYECTO DE TESIS |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|--------------------|---|---|---|---|---|-------------------------|---|---|---|---|---|--------------------|---|---|---|---|---|---|
|                                                                    | SEMESTRE 1<br>2022-2023          |   |   |   |   |   | SEMESTRE 2<br>2023 |   |   |   |   |   | SEMESTRE 3<br>2023-2024 |   |   |   |   |   | SEMESTRE 4<br>2024 |   |   |   |   |   |   |
|                                                                    | S                                | O | N | D | E | F | M                  | A | M | J | J | A | S                       | O | N | D | E | F | M                  | A | M | J | J | A | S |
| Revisión bibliográfica                                             |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Elaboración de protocolo.                                          |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Evaluación tutorial.                                               |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Construcción del colector de calor y pruebas térmicas al plástico. |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Diseño del receptor de calor.                                      |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Construcción del receptor de calor a escala y pruebas piloto.      |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Validación y construcción del receptor de calor propuesto.         |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |
| Montaje del receptor de calor al sistema                           |                                  |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |                         |   |   |   |   |   |                    |   |   |   |   |   |   |



## BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Ortiz-Hernández L.M., Sánchez-Salinas E., & Folch-Mallol J.L., (2014). Los plaguicidas en México: aspectos generales, toxicológicos y ambientales.
- [2] Sánchez-Pérez A., Buenrostro-Delgado O. y García-Acevedo R. (2022). La gestión de los envases de plaguicidas utilizados en el cultivo del aguacate en el Estado de Michoacán, México (The management of pesticide container used in avocado cultivation in the state of Michoacán, México). Tesis de Maestría en ingeniería Ambiental. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, 23 de noviembre de 2022, 52 pp. Morelia, Michoacán, México.
- [3] Diario Oficial de la Federación, DOF (01/20/2004). Norma Oficial Mexicana NOM-098-SEMARNAT-2002. Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=664977&fecha=01/10/2004#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=664977&fecha=01/10/2004#gsc.tab=0)
- [4] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2015). Código Internacional de Conducta para la Gestión de Plaguicidas. <https://www.fao.org/3/l3604s.pdf>
- [5] del Puerto-Rodríguez A.M., Suárez-Tamayo S., Palacio-Estrada D.E., (2014). Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud.
- [6] Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). *Plan de Manejo y Recolección de Envases Vacíos de Plaguicidas*. Obtenido de: <https://www.cesaveq.org.mx/cesa3/page/dctos/inocuidad/plamrevp.pdf>
- [7] Diario Oficial de la Federación, DOF (2009). Norma Oficial Mexicana NOM-232-SSA1-2009, Plaguicidas: que establece los requisitos del envase, embalaje y etiquetado de productos grado técnico y para uso agrícola, forestal, pecuario, jardinería, urbano, industrial y doméstico. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4020/salud/salud.htm>
- [8] Diario Oficial de la Federación, DOF (23/06/2005). Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>
- [9] Diario Oficial de la Federación, DOF (04/10/2017). Norma Oficial Mexicana NOM-082-SAG-FITO/SSA-2017, Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimientos de autorización y revisión. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5499806&fecha=04/10/2017#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5499806&fecha=04/10/2017#gsc.tab=0)
- [10] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA. (2019). *Manual para el buen uso de plaguicidas en campo*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL\\_PARA\\_EL\\_BUEN\\_USO\\_Y\\_MANEJO\\_DE\\_PLAGUICIDAS\\_EN\\_CAMPO.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL_PARA_EL_BUEN_USO_Y_MANEJO_DE_PLAGUICIDAS_EN_CAMPO.pdf)
- [11] Comité Estatal de Sanidad Vegetal, CESAVEMICH (2011). Programa Nacional “Campo limpio”. Obtenido de <http://www.conadesuca.gob.mx/foro%20Jalisco/Campo%20limpio%20michoacan.pdf>

- [12] Tecnología del plástico (16/08/2022). México impulsa el reciclaje de envases de agroquímicos. Boletín Mensual sobre el Plástico. Visto en <https://www.plastico.com/es/noticias/mexico-impulsa-el-reciclaje-de-envases-de-agroquimicos>
- [13] González-Velasco J., (2009). Energías renovables. Obtenido de [https://www.academia.edu/45608872/Jaime\\_Gonz%C3%A1lez\\_Velasco\\_Energ%C3%A1\\_Das\\_Renovables\\_2009\\_ISBN\\_9788429179125](https://www.academia.edu/45608872/Jaime_Gonz%C3%A1lez_Velasco_Energ%C3%A1_Das_Renovables_2009_ISBN_9788429179125). Recuperado (27/05/2023).
- [14] Laborde M.A., Williams R.J.J., (2016). Energía solar.
- [15] Lovegrove K., Stein W., (2020). Concentrating solar power technology: principles, developments and applications.
- [16] Diario Oficial de la Federación, DOF (01/10/2004). Norma Oficial Mexicana NOM 098-SEMARNAT-2002, Protección ambiental-Incineración de residuos, especificaciones de operación y límites de emisión de contaminantes.  
[https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=664977&fecha=01/10/2004#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=664977&fecha=01/10/2004#gsc.tab=0)
- [17] Gobierno de México (S.F.) Riesgos de los plaguicidas para el ambiente. Obtenido de: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/26576/riesgos.pdf>
- [18] Vargas M. (2006). Riesgo de los plaguicidas para el ambiente.
- [19] Kalogirou E.N., (2018). Waste-to-Energy: Technologies and Global Applications
- [20] Kajina W., Junpen A., Garivait S., Kamnoet O., Keeratiisariyakul P., Rousset P., (2019) Charcoal production processes: an overview, Journal of Sustainable Energy & Environment 10, 19-25.
- [21] Li X.T., Grace J.R., Lim C.J., Watkinson A.P., Chen H.P., Kim J.R., (2004). Biomass gasification in a circulating fluidized bed, Biomass Bioenergy 26 (2) 171–193, DOI: 10.1016/S0961-9534(03)00084-9.
- [22] Lv P.M., Xiong Z.H., Chang J., Wu C.Z., Chen Y., Zhu J.X., An experimental study on biomass air–steam gasification in a fluidized bed, Bioresour. Technol. 95 (1) 95–101, DOI: 10.1016/j.biortech.2004.02.003.
- [23] Arciniega-Galaviz M.A., (2022). Disposición de envases vacíos de plaguicidas generados en actividades agrícolas en Ahome, Sinaloa.
- [24] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, SENASICA (2015). Programa Nacional de Recolección de Envases Vacíos de Agroquímicos y Afines (PNREVAA). Obtenido de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/116827/Campo\\_Limpio\\_2015.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/116827/Campo_Limpio_2015.pdf)
- [25] Diario Oficial de la Federación, DOF (29/01/2013). Norma Oficial Mexicana NOM-256-SEMARNAT-2012, Condiciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos y personal dedicados a los servicios urbanos de control de plagas mediante plaguicidas. Obtenido de: [https://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5286029&fecha=29/01/2013#gsc.tab=0](https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5286029&fecha=29/01/2013#gsc.tab=0)
- [26] Diario Oficial de la Federación, DOF (04/10/2017). Norma Oficial Mexicana NOM-082-SAG-FITO/SSA1-2017, Límites máximos de residuos. Lineamientos técnicos y procedimiento de autorización y revisión. [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5499806&fecha=04/10/2017#gsc.tab=0](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5499806&fecha=04/10/2017#gsc.tab=0)

- [27] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, SADER (2019). Manual para el buen uso y manejo de plaguicidas en campo. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL\\_PARA\\_EL\\_BUEN\\_USO\\_Y\\_MANEJO\\_DE\\_PLAGUICIDAS\\_EN\\_CAMPO.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/452645/MANUAL_PARA_EL_BUEN_USO_Y_MANEJO_DE_PLAGUICIDAS_EN_CAMPO.pdf)
- [28] United Nations Environment Programme, UNEP (2010). Convencio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes.
- [29] Food and Agriculture Organization, FAO (2017). Convenio de Rotterdam sobre el procedimiento de consentimiento fundamentado previo aplicable a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional.
- [30] Food and Agriculture Organization, FAO (2013). Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas.
- [31] Martínez-Gracia, A., Arauzo, I. and Uche J. (2019). Solar energy availability, 113-149, DOI: 10.1016/B978-0-12-814853-2.00005-9
- [32] Jarabo-Friedrich F., Pérez-Domínguez C., Fernández-Gonzalez J., (2007). El libro de las energías renovables, 40-46
- [33] Kalogirou S.A., (2013). Solar energy engineering: Processes and systems.
- [34] Mendez-Muñiz J.M., Cuervo-García R., (2011). Energía solar fotovoltaica.
- [35] Kalogirou S., (2003). The potential of solar industrial process heat applications.
- [36] Saldivar-Aguilera T.Q., Díaz-Ponce A., Valentín-Coronado L.M., (2022). Caracterización y optimización del seguimiento solar de un concentrador solar de canal parabólico.
- [37] Machado-Toranzo N., Lussón-Cervantes A., Oro-Carralero L.L., Seguidor solar, optimizando el aprovechamiento de la energía solar. (2015).
- [38] Cervantes-de la Rosa J.P., (2015). Diseño y construcción de un prototipo didáctico de seguidor solar híbrido: fotovoltaico-térmico.
- [39] Thirunavukkarasu V., Cheralathan M., (2016). Receivers of solar parabolic dish collector system for low and medium temperature applications: a review.
- [40] Zapata J., Lovegrove K., Pye J.D., (2010). Steam receiver models for sola dish concentradors: Two models compared.
- [41] Taggart S., (2008). CSP: dish project inch forward. Review. Energy. 52-54. DOI: 10.1016/S1471-0846(08)70139-2
- [42] Blázquez-Carnerero R.M., Silva-Pérez M., (2014). Estudio de la calidad óptica de un concentrador de disco parabólico.
- [43] Rodríguez-Aumente P.A., San José-Losada J., (2009). Análisis de un sistema de disco parabólico con motor Stirling
- [44] Ramos-Escamilla M., Miranda-García M., Serrudo-Gonzales J., (2016). Revista de prototipos tecnológicos.
- [45] Friedman-Ramírez D.I., Palma-Behnke R., (2017). Sistema de concentración solar Fresnel para aplicaciones solares a escala comunitaria.
- [46] Prieto-Villalba D., (2018). Causas y consecuencias de las problemáticas actuales en la gestión de envases de plaguicidas de uso agrícola en Cundinamarca.

- [47] Angulo-Caldeón M., Salgado-Tránsito I., Trejo-Zuñiga I., Paredes-Orta C., Sajjad K., & Díaz-Ponce A., (2022). Development and Accuracy Assessment of a High-Precision Dual-Axis Pre-Commercial Solar Tracker for Concentrating Photovoltaic Modules. <https://doi.org/10.3390/app12052625>
- [48] Gómez-Barea, A., Arjona, P. Ollero, (2005). Pilot-plant gasification of olive stone: a technical assessment, *Energy Fuels* 19 (2) 598–605, DOI: 10.1021/ef0498418.
- [49] Rajkumar R., Keerthika, Jesima B., Mousika., (2020). House hold solar incinerator.
- [50] B.O. Ugwuishiwu, I.P. Owoh, I.J. Udom., (2016). Solar energy application in waste treatment – a review. DOI: 10.4314/njt.v35i2.27
- [51] Moreno-Garza R.G., (2022). Importancia de los plaguicidas en la agricultura.
- [52] Bilbao-Duñabeitia R., (2009). Aprovechamiento termoquímico de la biomasa.
- [53] 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. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3328910
- [54] Jaramillo-Salgado O.A., (2014). Energía solar térmica de mediana temperatura para calor de proceso.
- [55] Diario Oficial de la Federación, DOF (01/02/2013). Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, Que establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Obtenido de: <https://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/6633/1/nom-161-semarnat-2011.pdf>.
- [56] Diario Oficial de la Federación, DOF (08/05/2023). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Recuperado de: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGPGIR.pdf>.
- [57] V-Anderson J., J-Clyne Richard., 1991. Solar Detoxification Technology: Using Energy from the Sun to Destroy Hazardous Waste
- [58] Schaffner B., Meier A., Wullemmin D., Hoffelner W., Steinfeld A., (2003). Recycling of hazardous solid waste material using high-temperature solar process heat. DOI: 10.1021/es020056o
- [59] Padilla I., López-Andrés S., Álvarez M., Vazques A., & López-Delgado A., (2013). Use of concentrated solar energy to synthesize alumina from an aluminium hazardous waste
- [60] Hussain-Thabet R., Kamal-Fouad M., Abd-Elrahem I., Ali., El-Sherbiny A., & Abdelbaset-Tony M., (2021). Solar concentration of pesticide-containing wastewater combat: Can solar energy meets a green costless goal for treating agriculture waste stream?
- [61] Karl-Heinz F., (2001). Solar chemistry using concentrating solar facilities.
- [62] Sadi M., Arabkoohsar A., (2019). Modelling and analysis of a hybrid solar concentrating-waste incineration power plant. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.055
- [63] Guere-Lavado Y., (2019). Ventajas y desventajas de los paneles solares fotovoltaicos

- [64] Barreiro J.C., Pons A., Saavedra G., (2015). Lente de Fresnel.
- [65] Karl-Heinz F., Pohlmann B., Lupfert E., Dominik R., (1999). Application of concentrated solar radiation to high temperature detoxification and recycling processes of hazardous wastes. DOI: 10.1016/S0038-092X(98)00089-9
- [66] Lorenzo-Pigueiras E., Sala-Pano G., (1982). Contribución a la teoría de diseño y a la tecnología de las lentes de Fresnel para su uso como concentradores en aplicaciones fotovoltaicas.
- [67] Moreno-Garza R.G., (2022). Importancia de los plaguicidas en la agricultura.
- [68] Martínez M., (2016). Radiación solar – conceptos y aplicaciones.
- [69] RKC Instrument Inc., (2004). Controlador digital REX-C100 (IMNZC21-E1). Recuperado de <https://altronics.cl/uploads/manual-rex-c100es.pdf>
- [70] Grupo Truper., (2024). Medidor infrarrojo de temperatura METE-500. Recuperado de [https://www.truper.com/ficha\\_tecnica/Medidor-infrarrojo-de-temperatura-500-0C-3964.html?code=18229](https://www.truper.com/ficha_tecnica/Medidor-infrarrojo-de-temperatura-500-0C-3964.html?code=18229)
- [71] Green Power Science., (2023). Round Spot Fresnel Lens. Recuperado de <https://greenpowerscience.com/FRESNELSHOP/2225INCHROUNDSPOT.html>
- [72] BOSCH Professional., (2021). GIS 1000C PROFESSIONAL, Detector de temperature. Recuperado de: <https://www.bosch-professional.com/mx/es/products/gis-1000-c-0601083300>
- [73] Comisión Nacional del Agua, CONAGUA (2024). Normales climatológicas por estado. Recuperado de: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

# Eduardo Molina Murguía

## IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONCENTRACIÓN SOLAR PARA EL TRATAMIENTO TERMOQUÍMICO DE LOS RES...

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:469903541

Fecha de entrega

26 jun 2025, 7:22 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

26 jun 2025, 7:24 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONCENTRACIÓN SOLAR PARA EL TRATAMIENTO TERMOQ....pdf

Tamaño de archivo

2.3 MB

65 Páginas

17.250 Palabras

96.440 Caracteres

# 20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

## Fuentes principales

- 20%  Fuentes de Internet
- 9%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

## Marcas de integridad

### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

| Datos del manuscrito que se presenta a revisión |                                                                                                                                |                                      |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Programa educativo</b>                       | Maestría en Ciencias en Ingeniería Ambiental                                                                                   |                                      |
| <b>Título del trabajo</b>                       | Implementación de un sistema de concentración solar para el tratamiento termoquímico de los residuos de envases de plaguicidas |                                      |
|                                                 | <b>Nombre</b>                                                                                                                  | <b>Correo electrónico</b>            |
| <b>Autor/es</b>                                 | Eduardo Molina Murguía                                                                                                         | 2226309d@umich.mx                    |
| <b>Director</b>                                 | Hugo Luis Chávez García                                                                                                        | luis.chavez@umich.mx                 |
| <b>Codirector</b>                               | Arturo Díaz Ponce                                                                                                              | adiaz@cio.mx                         |
| <b>Coordinador del programa</b>                 | Salomón Ramiro Vásquez García                                                                                                  | mae.cs.ingenieria.ambiental@umich.mx |

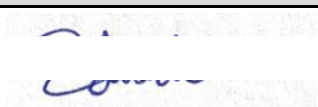
| Uso de Inteligencia Artificial |             |             |
|--------------------------------|-------------|-------------|
| Rubro                          | Uso (sí/no) | Descripción |
| Asistencia en la redacción     | No          |             |

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



| Uso de Inteligencia Artificial             |             |             |
|--------------------------------------------|-------------|-------------|
| Rubro                                      | Uso (sí/no) | Descripción |
| Traducción al español                      | No          |             |
| Traducción a otra lengua                   | No          |             |
| Revisión y corrección de estilo            | No          |             |
| Análisis de datos                          | No          |             |
| Búsqueda y organización de información     | No          |             |
| Formateo de las referencias bibliográficas | No          |             |
| Generación de contenido multimedia         | No          |             |
| Otro                                       | No          |             |

| Datos del solicitante |                                                                                                             |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nombre y firma        | Eduardo Molina Murguía  |
| Lugar y fecha         | Morelia Michoacán, México; 25 de junio del 2025                                                             |