

**Aplicación potencial de la energía solar térmica en el procesamiento de plásticos:
elaboración de manguera de riego a partir de plástico reciclado**

Ana Maria Reyes Mendoza y Ailyn Jineth Melchan Díaz

**Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Químico
Modalidad Trabajo de Investigación**

Director

Viatcheslav Kafarov

P.h.D Ingenier Hábil, P.h.D Technical Science

Codirector

Víctor Alexis Lizcano González

Magister en ingeniería química

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2024

Dedicatoria

Queremos dedicar este trabajo de grado a quienes han sido pilares fundamentales en nuestras vidas, brindándonos su amor, apoyo incondicional y sabiduría a lo largo de esta travesía académica y profesional.

A mis padres, Luz y Elberto, y a mi hermano Sebastián, quienes han estado a mi lado en cada paso de este camino. Su constante apoyo y sacrificio han hecho posible cada logro. Gracias por enseñarme la importancia del esfuerzo, la perseverancia, y por inspirarme a ser la mejor versión de mí misma.

Ana Maria Reyes Mendoza

A mis padres, Lucio y Rubiela, mi hermano Daniel, mi hermana Karol y mi abuelo Vice, quienes han sido mi mayor fuente de inspiración y fortaleza. Reconozco el invaluable regalo de sus valores, su constante aliento para alcanzar mis metas y su apoyo incondicional en cada desafío que he enfrentado. Sus sabias enseñanzas no solo han moldeado mi carrera profesional, sino que también han forjado mi carácter y mi ética, guiándome hacia un camino de crecimiento personal y profesional.

Ailyn Jineth Melchan Díaz

Agradecimientos

Queremos expresar nuestra profunda gratitud a quienes han contribuido de manera significativa al desarrollo y culminación de este proyecto de grado.

Agradecemos sinceramente al Director de nuestro trabajo de grado, el Dr. Sc. Viatcheslav Kafarov, por su guía experta, paciencia y apoyo constante a lo largo de este proceso académico, su dedicación y conocimientos han sido fundamentales para nuestro aprendizaje y crecimiento profesional.

Igualmente, extendemos nuestro agradecimiento al Ingeniero M.Sc. Victor Lizcano, nuestro codirector, por su orientación experta y valiosos aportes que han enriquecido este trabajo, su compromiso y visión han sido cruciales para alcanzar nuestros objetivos.

Agradecemos también a la Ingeniera Daniela Socha por su confianza en nuestro equipo y por sus valiosos consejos durante el desarrollo de este proyecto, su apoyo ha sido fundamental para enfrentar los desafíos técnicos y metodológicos que hemos encontrado en el camino.

Reconocemos al semillero CIDES por proporcionar un entorno académico estimulante y por el apoyo brindado a lo largo de nuestra formación, la colaboración y el intercambio de conocimientos en este espacio han enriquecido nuestra experiencia académica y profesional de manera significativa.

Finalmente, agradecemos a Dios por habernos bendecido con su amor y protección, iluminando nuestro camino y brindándonos la sabiduría necesaria para enfrentar cada paso de nuestras vidas.

Tabla de contenido

Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. Marco teórico	15
2.1 Sistema de Energía Solar Térmica	15
2.2 Colector Solar Térmico	16
2.3 Programación en TRNSYS	17
3. Estado del arte	19
4. Metodología	22
4.1 Fase 1 - Caracterización de las demandas de calor	22
4.2 Fase 2 - Diseño de la configuración del sistema solar térmico	25
4.3 Fase 3 – Prefactibilidad económica de la configuración propuesta	27
5. Resultados	28
5.1 Caracterización del proceso productivo de manguera de riego	28
5.2 Perfil de radiación solar incidente en la ubicación geográfica de la empresa de estudio	29
5.3 Cálculo de consumo energético en extrusión de plástico reportado en la literatura	30
5.4 Análisis de propiedades térmicas basado en Diagrama de DSC para el LDPE reportado en la literatura	31
5.5 Caracterización de propiedades térmicas del LDPE	32
5.6 Estimación de la demanda teórica de calor	33
5.7 Sistema para el aprovechamiento de energía solar térmica	35
5.8 Variación del área de apertura de radiación y flujo de fluido caloportador	36
5.9 Prefactibilidad económica de la configuración propuesta	39
6. Conclusiones	46
Referencias Bibliográficas	47
Apéndices	52

Lista de tablas

Tabla 1 <i>Tipos de radiación solar</i>	15
Tabla 2 <i>Clasificación de Tipos de Componentes en TRNSYS</i>	18
Tabla 3 <i>Características de temperatura y entalpías de fusión y cristalización</i>	33
Tabla 4 <i>Horas efectivas de operación del sistema en función del área de apertura del colector y el caudal del fluido térmico caloportador</i>	40
Tabla 5 <i>Porcentaje de Ahorro o Reemplazo Energético Mensual sin Almacenamiento</i>	41
Tabla 6 <i>Ahorro Económico Mensual sin Almacenamiento (\$COP)</i>	42
Tabla 7 <i>Porcentaje de Ahorro o Reemplazo Energético Mensual con Almacenamiento</i>	43
Tabla 8 <i>Ahorro Económico Mensual con Almacenamiento (\$COP)</i>	43
Tabla 9 <i>Proyección de ahorro anual para el sistema sin almacenamiento de calor</i>	44
Tabla 10 <i>Tabla 9 Proyección de ahorro anual para el sistema con almacenamiento de calor</i>	45
Tabla 11 <i>Evaluación financiera sin almacenamiento</i>	45
Tabla 12 <i>Evaluación financiera con almacenamiento</i>	46

Lista de figuras

Figura 1 <i>Colector Cilíndrico Parabólico</i>	17
Figura 2 <i>Diagrama de flujo de metodología empleada en el presente trabajo de grado</i>	22
Figura 3 <i>Etapas estimación de demandas de calor para le extrusora de LDPE</i>	25
Figura 4 <i>Diagrama de Flujo proceso de extrusión de manguera de riego</i>	27
Figura 5 <i>Caracterización de perfil de radiación para el año 2015</i>	29
Figura 6 <i>Consumos específicos de energía de empresas de extrusión de acuerdo en el ICIPC</i> ... 30	
Figura 7 <i>Experimento de calorimetría y los termogramas registrados para LDPE y sus mezclas</i>	31
Figura 8 <i>Curvas registradas del análisis DSC para LPDE y sus mezclas</i>	32
Figura 9 <i>Perfil de flujo calor obtenido para el análisis de calorimetría diferencial de barrido de la muestra de manguera de riego</i>	33
Figura 10 <i>Topología de la simulación de Sistema de Energía Solar Térmica</i>	35
Figura 11 <i>Perfil de temperatura obtenido para un área de 200 m² con un caudal de 150 kg/h durante 8760 horas</i>	36
Figura 12 <i>Temperatura del fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 200m²</i>	37
Figura 13 <i>Temperatura del fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 300m²</i>	37
Figura 14 <i>Temperatura del fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 400m²</i>	38
Figura 15 <i>Energía absorbida por el fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 200m²</i>	38

Figura 16 *Energía absorbida por el fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 300m^2 39*

Figura 17 *Energía absorbida por el fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 400m^2 39*

Lista de apéndices

Apéndice A <i>Descripción del proceso de fabricación de manguera de riego a partir de LDPE</i> .	53
Apéndice B <i>Diagrama de flujo proceso de fabricación de manguera de riego a partir de LDPE</i>	54
Apéndice C <i>Tarifario electrificadora de Santander ESSA</i>	55
Apéndice D <i>Ficha Técnica Power Through 250</i>	56

Glosario

CIDES: Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía de la Universidad Industrial de Santander.

DSC: Calorimetría Diferencial de Barrido, técnica analítica utilizada para medir la cantidad de calor liberado o absorbido por una muestra durante el calentamiento o enfriamiento en un rango de temperatura.

ICIPC: Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho.

LDPE: Polietileno de Baja Densidad, polímero termoplástico fabricado a partir del monómero etileno.

Resumen

Título: Aplicación potencial de la energía solar térmica en el procesamiento de plásticos: elaboración de manguera de riego a partir de plástico reciclado*

Autor: Ana Maria Reyes Mendoza, Ailyn Jineth Melchan Díaz**.

Palabras claves: Radiación, extrusión, calorimetría, eficiencia energética.

Descripción: Este trabajo evaluó el uso potencial de la energía solar térmica en el proceso de extrusión de mangueras de riego fabricadas con plástico reciclado de baja densidad. La metodología incluyó la caracterización de las demandas de calor y la disponibilidad de radiación solar de acuerdo con la ubicación del caso de estudio. Se plantearon y simularon diferentes alternativas de sistemas solares térmicos utilizando el software TRNSYS, evaluándose tanto su desempeño técnico como su prefactibilidad económica. Los resultados mostraron que la integración de energía solar térmica puede reducir el consumo de energía eléctrica hasta un 40,9% en algunos escenarios al implementarse una etapa de precalentamiento al proceso de extrusión, demostrando ser una alternativa efectiva y sostenible para la industria del procesamiento de plásticos. Las simulaciones indicaron que los sistemas diseñados son capaces de satisfacer las demandas de calor requeridas para la producción de mangueras de riego, destacando su potencial para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos asociados. Estos hallazgos subrayan la posibilidad de adoptar tecnologías renovables de energía solar térmica en aplicaciones industriales, como lo es en este caso para industrias de extrusión en el procesamiento de plástico reciclado, promoviendo una transición hacia operaciones más respetuosas con el medio ambiente y respaldando los objetivos de sostenibilidad global.

*Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Dr. Sc. Viatcheslav Kafarov P.h.D Ingenier Hábil, P.h.D Technical Science Codirector: M.Sc. Víctor Alexis Lizcano González Magister en ingeniería química

Abstract

Title: Potential application of solar thermal energy in plastic processing: production of irrigation hose from recycled plastic*

Authors: Ana Maria Reyes Mendoza, Ailyn Jineth Melchan Díaz**

Keywords: Radiation, extrusion, calorimetry, energy efficiency.

Description: This work evaluated the potential use of solar thermal energy in the extrusion process of irrigation hoses made of low-density recycled plastic. The methodology included the characterization of heat demands and the availability of solar radiation according to the location of the case study. Different alternatives for solar thermal systems were proposed and simulated using the TRNSYS software, evaluating both their technical performance and their economic pre-feasibility. The results showed that the integration of solar thermal energy can reduce electrical energy consumption by up to 40.9% in some scenarios when a preheating stage is implemented in the extrusion process, proving to be an effective and sustainable alternative for the food processing industry. plastics. The simulations indicated that the designed systems are capable of meeting the heat demands required for the production of irrigation hoses, highlighting their potential to improve operational efficiency and reduce associated costs. These findings highlight the possibility of adopting renewable solar thermal energy technologies in industrial applications, such as in this case for extrusion industries in the processing of recycled plastic, promoting a transition towards more environmentally friendly operations and supporting the objectives of global sustainability.

*Degree work.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Dr. Sc. Viatcheslav Kafarov P.h.D Skilled Engineer, P.h.D Technical Science Co-director: M.Sc. Víctor Alexis Lizcano González Master in chemical engineering

Introducción

Las actividades industriales demandan grandes cantidades de energía en forma de calor para procesos de diversa naturaleza, el calor industrial representa dos tercios de la demanda energética industrial y casi una quinta parte del consumo mundial de energía. También constituye la mayor parte del CO₂ industrial directo emitido cada año, ya que la inmensa mayoría del calor industrial procede de la combustión de combustibles fósiles (IEA, 2018).

Con miras a la contribución a una transición energética hacia tecnologías limpias, deben evaluarse alternativas para suplir esta demanda (Moran, 2024). Dentro de las diferentes fuentes de energía renovable disponibles, la radiación solar es por mucho la más abundante, pudiéndose aprovechar esta energía para la generación directa de calor (ACCIONA | Business as unusual, s.f.). Dependiendo de la temperatura de trabajo de un sistema solar térmico, estos pueden clasificarse en calor de baja temperatura si es menor a 80 °C, media temperatura si se ubica entre 80°C y 250 °C y de alta temperatura si es superior a los 250 °C (Bie, y otros, 2020). El diseño e implementación de un sistema solar térmico requiere de diversas etapas, siendo las iniciales la estimación del potencial de aplicación de la energía solar térmica, en donde se deben estimar factores importantes como tipo de colector a emplear, área de captura de radiación solar, temperatura de trabajo del sistema y porcentaje de reemplazo de la fuente de energía convencional.

Es por esto que este trabajo de grado busca evaluar la prefactibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema solar térmico para la elaboración de mangueras de riego a partir de plástico reciclado de baja densidad. La extrusión tradicional, impulsada por calentadores eléctricos convencionales, representa un consumo energético elevado y una fuente significativa de emisiones dependiendo de cómo se genera la electricidad consumida. En contraste, la integración de la energía solar térmica ofrece una alternativa prometedora para reducir tanto el consumo de

energía como las emisiones, promoviendo a la vez el reciclaje de plásticos y la utilización de fuentes de energía renovable.

Se busca entonces establecer: ¿Cuál es la influencia de la configuración, área de captación solar y flujo de fluido caloportador sobre las horas efectivas de trabajo y el porcentaje de reemplazo de la fuente de energía convencional obtenidas a partir de la implementación de un sistema solar térmico para la producción de manguera de riego a partir de plástico reciclado, en el municipio de Girón, Santander?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el uso potencial de la energía solar térmica en la elaboración de manguera de riego a partir de plástico reciclado.

1.2 Objetivos específicos

Caracterizar las demandas de calor en una línea de producción de manguera de riego y la disponibilidad de radiación solar en la zona.

Diseñar alternativas de sistemas solares térmicos para el suministro de las demandas de calor en el caso de estudio empleando el software TRNSYS.

Determinar la prefactibilidad económica de la implementación de las diferentes alternativas de sistemas solares térmicos propuestas.

2. Marco teórico

2.1 Sistema de Energía Solar Térmica

La energía solar térmica se basa en la captación de la radiación solar mediante colectores para convertirla en calor utilizable, concentrando la luz solar para posteriormente elevar la temperatura de un fluido que circula por su interior. Este calor puede ser utilizado directamente en procesos industriales o almacenarse para su uso posterior (Mendez Muñiz, 2011).

En un sistema de energía solar térmica, es importante considerar la combinación de las tres formas de radiación, directa/difusa/reflejada esto con el fin de maximizar la eficiencia del colector solar y, por ende, la cantidad de energía térmica generada. Estos términos describen cómo llega la energía solar al colector solar, que es el componente encargado de absorber la radiación y convertirla en calor útil para su uso. (Ovacen, s.f.).

Tabla 1

Tipos de radiación solar

Tipo	Descripción
Radiación directa	Se refiere a la luz solar que llega directamente del sol sin ser dispersada o desviada por la atmósfera, esta radiación es la más intensa y concentrada, ya que llega en línea recta desde el sol al colector solar.
Radiación difusa	Esta radiación llega al colector solar en todas direcciones y no está concentrada en un solo punto, aunque su intensidad es menor que la radiación directa, sigue siendo una fuente significativa de energía solar, especialmente en días nublados o con cielo cubierto.
Radiación reflejada	Proviene de superficies cercanas al colector solar y que ha sido reflejada hacia el, incluye la radiación solar reflejada por superficies como suelos, paredes, o incluso nubes, que llega al colector solar después de ser reflejada.

Nota. Adaptado de (IDEAM; UPME, 2017)

2.2 Colector Solar Térmico

Los colectores solares térmicos son dispositivos diseñados para transformar la energía solar en energía térmica, utilizando diferentes principios de funcionamiento según el tipo de colector. Estos colectores se adaptan a diversas necesidades y condiciones de temperatura de trabajo del sistema (Carrión, Murillo, & Montero, 2022). A continuación, se enumeran y describen según sus características principales:

2.2.1 Colectores de Baja Temperatura (< 150 °C)

2.2.1.1 Colector Plano: Utiliza una cubierta vidriada y una placa absorbente para captar la energía solar. Ideal para temperaturas inferiores a 100 °C.

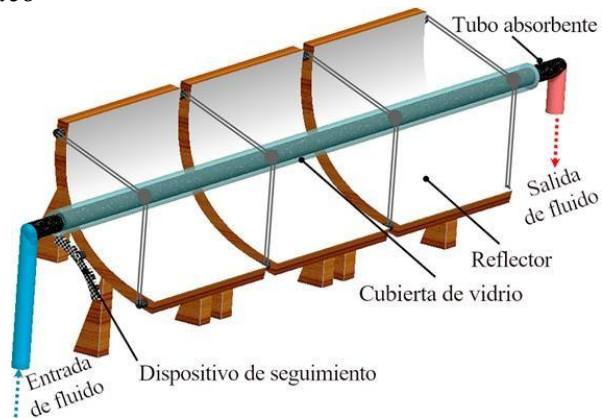
2.2.1.2 Colector de Tubo de Vacío: Consta de tubos de vidrio concéntricos con una capa absorbente, operando hasta 120 °C con alta eficiencia y bajo costo.

2.2.1.3 Colector Parabólico Compuesto: Utiliza superficies parabólicas reflectantes para concentrar la radiación solar en un tubo absorbente, operando hasta 150 °C.

2.2.2 Colectores de Temperatura Media (150 - 400 °C)

2.2.2.1 Colector Plano Evacuado: Combina el diseño de un colector plano y el principio de vacío para alcanzar temperaturas entre 120 y 180 °C.

2.2.2.2 Colector Cilíndrico Parabólico: Dispone de una lámina en forma de parábola que refleja la radiación solar hacia un tubo receptor ubicado a lo largo de la línea focal (Ver **Figura 1**), su temperatura de trabajo abarca un rango de más de 400°C y pueden requerir un sistema de seguimiento para alinearse con el sol durante el día (Reyes, Zacarías, Jiménez, Donis, & Gutierrez, 2018).

Figura 1*Colector Cilíndrico Parabólico*

Nota. Adaptado de (Suman, Khan, & Pathak, 2015)

2.2.2.3 Colector Fresnel Lineal: Consta de un tubo absorbente y espejos reflectantes alineados horizontalmente, alcanzando temperaturas entre 60 y 250 °C.

2.3 Programación en TRNSYS

TRNSYS es un software de simulación energética que permite modelar sistemas complejos mediante la interconexión de diferentes componentes, la programación en TRNSYS implica seleccionar y configurar objetos de bibliotecas predefinidas para representar cada componente del sistema a simular. Cada objeto tiene parámetros configurables que determinan su comportamiento y características específicas, para ello en la Tabla 2 se encuentran clasificados los componentes de acuerdo con la biblioteca del simulador.

Tabla 2*Clasificación de Tipos de Componentes en TRNSYS*

Tipo de Componente	Descripción del componente
Termodinámicos y de Transferencia de Calor	Incluyen objetos como colectores solares, intercambiadores de calor, y tuberías, que modelan fenómenos de transferencia de calor y energía.
Hidráulicos y de Fluido	Comprenden bombas, válvulas, y conductos, que simulan el comportamiento hidráulico y de fluidos en sistemas.
Carga y Estructuras	Modelan cargas térmicas, estructuras de edificios, y perfiles de demanda energética, entre otros.
Solares	Incluyen modelos para colectores solares y sistemas de almacenamiento térmico solar.
Almacenamiento Térmico	Engloban tanques de almacenamiento, intercambiadores de calor en tanques, y dispositivos de almacenamiento de energía térmica.
Utilidad	Ofrecen funciones adicionales como generadores de números aleatorios, calculadoras de eficiencia, y analizadores de costos de ciclo de vida.

La integración en TRNSYS se logra conectando la salida de un objeto (por ejemplo, la temperatura de salida de un colector solar) a la entrada de otro objeto (como la temperatura de entrada a un tanque de almacenamiento). Esta interconexión permite simular sistemas complejos donde cada componente interactúa dinámicamente con los demás, reflejando así el comportamiento real del sistema que se está modelando (TRNSYS, s.f.).

3. Estado del arte

La integración de tecnologías de energía solar térmica en el procesamiento de plásticos se ha investigado mayoritariamente en procesos para la producción de filamento para impresión 3D. Por ejemplo, se ha reportado el uso de un colector solar de foco fijo tipo Scheffler de acero inoxidable y espejos con un área de 2.7 m², la cual entrega la capacidad suficiente para calentar el cilindro de una extrusora de filamentos, permitiendo el reemplazo de los calentadores eléctricos convencionales. Para controlar la temperatura del proceso, se utiliza una pantalla protectora controlada por un controlador PID entre un rango de 160°C a 229°C, este método es particularmente útil para mantener una temperatura constante durante el proceso de fabricación de materiales a base de plásticos, ya que la temperatura es una variable operativa que afecta cada paso del moldeo por inyección en las extrusoras. A pesar de los bajos volúmenes de producción, este estudio demuestra con éxito que es posible utilizar la energía solar para generar suficiente calor para fundir plástico LDPE y fabricar filamentos para impresión 3D. Este enfoque no solo permite reciclar eficientemente los residuos de plástico, sino que también reduce la dependencia de los combustibles fósiles y minimiza las emisiones de gases de efecto invernadero, lo que contribuye a la sostenibilidad ambiental (Monnet, Carrol, & Embery, 2018).

Algunos autores proponen enfoques diferentes como el diseño y construcción de hornos solares, los cuales se centran en el reciclaje de plásticos de alta densidad para la utilización de energía solar térmica en la transformación de estos residuos en productos útiles. El diseño del horno solar consta de tres componentes principales: el Reflector Parabólico de lámina reflectante de acero inoxidable, la Lente Fresnel Lineal y la Lente Fresnel Puntual. Además, se incorpora una trituradora para reducir el tamaño de los plásticos. Las dimensiones del reflector parabólico

incluyen un diámetro de alrededor de 105 cm y una profundidad de 30 cm para lograr una longitud focal de aproximadamente 22.97 cm (Dollera, Corbita, Quitiol, Tagno-ay, & Trazona, 2019).

El horno solar buscaba alcanzar temperaturas superiores a 130°C para fundir plásticos de alta densidad, pero solo logró alrededor de 60°C. Al combinar una lente Fresnel puntual con un calentador parabólico, se alcanzó una temperatura máxima de 68.4°C en el contenedor, mientras que el punto focal parabólico llegó a 237.7°C. Sin embargo, al usar solo una lente Fresnel lineal, la temperatura del contenedor aumentó significativamente, alcanzando entre 166.8°C y 201.4°C, demostrando su mayor eficacia para generar altas temperaturas. Es así como, los resultados destacan las diferentes configuraciones del horno solar y su eficacia para alcanzar la temperatura requerida para fundir los plásticos. Se observa que la adición de la Lente Fresnel Lineal es crucial para lograr la temperatura necesaria, resaltando la importancia del uso de concentradores tipo 2D. Su uso no solo reduce los residuos plásticos y conserva los recursos naturales, sino que también disminuye las emisiones de gases (Dollera, Corbita, Quitiol, Tagno-ay, & Trazona, 2019).

Ambos estudios resaltan la relevancia de adoptar fuentes de energía renovable para reducir emisiones y conservar recursos, aspectos cruciales para la sostenibilidad ambiental en la elaboración de manguera de riego en el procesamiento de plásticos. Adicionalmente, las políticas y regulaciones ambientales en Colombia relevantes para nuestro proyecto de grado, abarcan varios enfoques estratégicos. En el ámbito energético, el Plan de Energía 2050 busca diversificar los recursos energéticos del país, incorporando plantas de energía eólica, solar fotovoltaica y geotérmica en la matriz eléctrica (IEA, 2021; IEA, 2021). Las cuales pueden ser apoyadas por aplicaciones puntuales de la energía solar térmica en diversas industrias. Para impulsar la eficiencia energética y las energías renovables, se han implementado incentivos significativos, como la extensión de períodos para deducciones fiscales y la exclusión del IVA en equipos relacionados

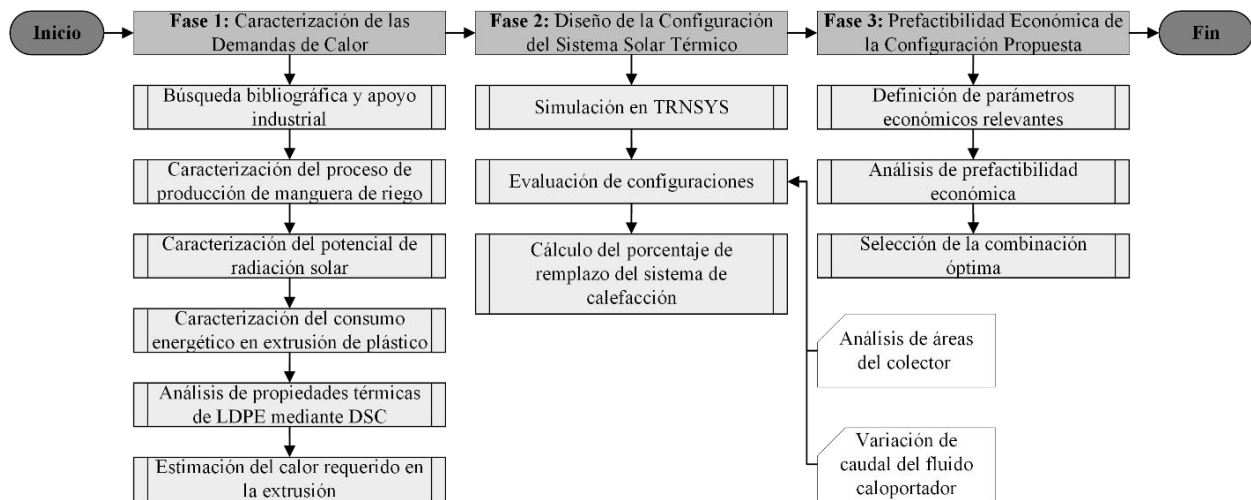
con la generación de energía renovable (International Trade Administration, 2021; International Trade Administration, 2021). Además, Colombia ha adoptado un impuesto al carbono y participa en mercados de carbono para reducir emisiones (Business & Human Rights, 2021; Business & Human Rights, 2021). A nivel internacional, Colombia ha presentado Contribuciones Determinadas a nivel Nacional comprometiéndose a reducir las emisiones en un 51% para 2030 y trabajar hacia la neutralidad del carbono para 2050 (The World Bank Group, 2022; The World Bank Group, 2022). Estas medidas se complementan con regulaciones ambientales más estrictas y estándares sectoriales para abordar emisiones y el uso de energía en la industria. En conjunto, estas políticas y enfoques reflejan un esfuerzo integral para abordar los desafíos ambientales y climáticos, destacando la importancia de reducir la intensidad energética en sectores como el procesamiento de plásticos para alcanzar metas de sostenibilidad y mitigación del cambio climático.

4. Metodología

A continuación, en la Figura 2 se identifica el diagrama de flujo general que resume la metodología empleada en el presente trabajo de grado:

Figura 2

Diagrama de flujo de metodología empleada en el presente trabajo de grado



4.1 Fase 1 - Caracterización de las demandas de calor

Se realizó búsqueda bibliográfica sobre el consumo teórico de energía para los procesos de extrusión de plástico. Adicionalmente, se contó con el apoyo de una empresa de la industria productora de manguera de riego ubicada en el área metropolitana de Bucaramanga, con el fin de tener datos primarios sobre los volúmenes de producción. Adicionalmente, dicha empresa proporcionó muestras de material el cual fue caracterizado térmicamente mediante calorimetría diferencial de barrido.

4.1.1 Caracterización del proceso de producción de manguera de riego a partir de LDPE

Se contó con la colaboración de una empresa dedicada a la fabricación de manguera de riego, que se ubica en el municipio de Girón, departamento de Santander. Se diagramaron los flujos

de material durante el proceso de elaboración de la manguera y se complementó con datos de volumen de producción, información de turnos de trabajo y demás datos relacionados con la logística del proceso.

4.1.2 Caracterización del potencial de radiación solar

Con base en datos históricos de radiación solar disponibles en la base de datos de Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS), se construyó el perfil y comportamiento de la radiación solar recibida en el sitio de estudio, durante un año calendario.

4.1.3 Caracterización consumo energético en extrusión de plástico reportado en la literatura

Con el fin de realizar una caracterización adecuada para el consumo energético en este tipo de industria, se hizo uso de una correlación empírica, generada a partir de un estudio para cuantificar el consumo energético en la producción de plástico en Colombia, describiendo métodos de medición teniendo en cuenta el flujo y el tipo de plantas (Inyección, Inyección y Soplado, Extrusión) (Vargas, Posada, Jaramillo, & García, 2015).

4.1.4 Análisis de propiedades térmicas basado en Diagrama de DSC para LDPE reportado en la literatura

Se realizó una búsqueda en las bases de datos como Sciencedirect, Scopus, Knovel, etc, empleando las palabras claves: “DSC polyethylene” “Differential Scanning Calimetry Polyethylene” “Polymers Characterization” “Thermal analysis polymers” “Differential scanning calorimetry analysis”, con el fin de identificar reportes de perfiles obtenidos para el análisis de LDPE.

4.1.5 Caracterización de propiedades térmicas de LDPE reciclado

Durante la visita a la empresa de fabricación de manguera, se nos suministró una muestra representativa del material lo cual permitió realizar un análisis detallado mediante la técnica de DSC. Los métodos empleados se describen a continuación.

4.1.5.1 Para Entalpías y temperaturas de fusión y cristalización, se agregó la muestra a porta muestras en aluminio y atmósfera de nitrógeno a flujo de 50 L/min. El análisis se inició con un calentamiento rápido de 20 °C/min hasta los 190 °C. Se mantiene en 190°C por 3 minutos y luego se enfría a 5 °C/min hasta 20 °C, se mantiene en 20 °C por 3 minutos y luego se inicia un calentamiento a 5 °C/min hasta 190 °C. Ahí se termina el ciclo.

4.1.5.2 Para capacidad calorífica también se usó porta muestras de aluminio y atmósfera de nitrógeno con flujo de 50 L/min. La muestra se enfriaba a 20 °C, se mantiene ahí por 5 miny se inicia un calentamiento a 5 °C/min hasta 190 °C.

4.1.6 Estimación de Calor Requerido

El calor (Q), es la transferencia de energía de un sistema a otro, y puede calcularse conociendo la capacidad calorífica del material (Cp), el flujo masico (\dot{m}) y el cambio de temperatura (ΔT) mediante la siguiente relación:

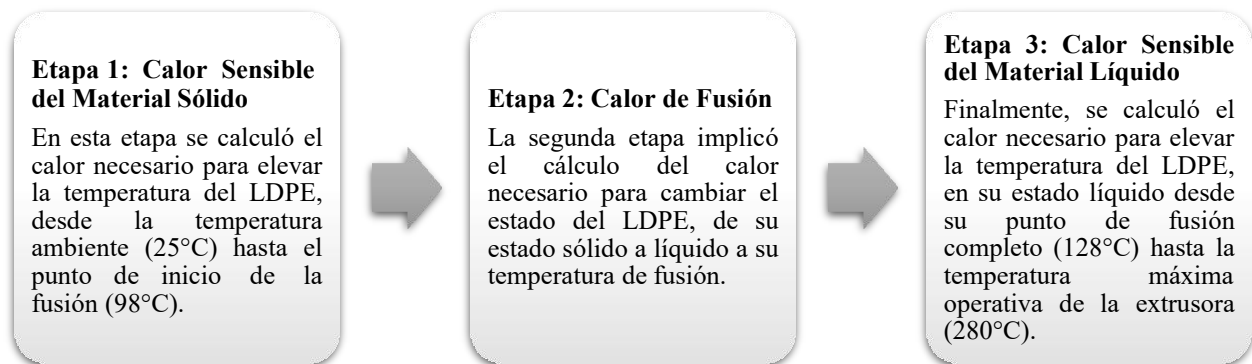
$$Q = \dot{m} \cdot Cp \cdot \Delta T \quad (\text{Ec. 1})$$

Conociendo las propiedades termofísicas de la muestra de LDPE obtenida, como lo fueron, sus temperaturas de fusión-cristalización, entalpías y capacidades caloríficas por medio del Diagrama de DSC pudimos obtenerlas experimentalmente en su fase sólida y líquida, estas propiedades son fundamentales para calcular el calor necesario en las distintas etapas del proceso.

Debido a las diferentes características térmicas del LDPE en sus estados sólido y líquido, se decidió dividir el cálculo del calor en tres etapas distintas; esta división permite una mayor precisión en la estimación de la energía necesaria en cada fase del proceso.

Figura 3

Etapas estimación de demandas de calor para le extrusora de LDPE



Finalmente, se sumaron los calores calculados en cada una de las tres etapas para obtener el calor total requerido para el proceso de fusión, esta suma permitió obtener una visión completa de la energía necesaria para transformar el material desde su estado sólido a líquido y llevarlo a la temperatura adecuada para la extrusión.

4.2 Fase 2 - Diseño de la configuración del sistema solar térmico

En la simulación realizada en TRNSYS (ver figura 10), se configuró el colector solar (Type536) junto con un fluido caloportador y una bomba de control (Type114). El fluido caloportador seleccionado es un aceite térmico con una capacidad calorífica específica de $1,5 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$, este aceite térmico permite una transferencia eficiente de calor desde el colector solar hasta el LDPE, asegurando que la temperatura generada por el colector sea capaz de alcanzar y mantenerse por encima de los umbrales de fusión del LDPE. Esto garantiza que el sistema pueda

proporcionar el calor necesario para fundir el material sólido en líquido, facilitando así su procesamiento en la extrusora de manguera de riego.

La selección del colector parabólico se fundamentó en varios factores críticos, los colectores parabólicos trabajan eficientemente en un rango de hasta 400°C, lo cual es adecuado para cumplir con los requisitos de temperatura del proceso de extrusión del LDPE. Aunque existen otros tipos de colectores, como los colectores planos y los colectores de tubo evacuado, los colectores parabólicos son más adecuados para aplicaciones que requieren temperaturas más altas.

Los colectores planos y de tubo evacuado son más económicos, pero no son tan eficientes a altas temperaturas, lo que requeriría más equipos y mayor volumen para alcanzar la misma capacidad térmica.

Además, los colectores parabólicos permiten concentrar la radiación solar en un punto focal, lo que incrementa significativamente la eficiencia térmica y permite alcanzar temperaturas más altas, lográndose con menos área de colector dado a su capacidad para adaptarse a las condiciones de radiación solar y a los requisitos específicos de la ubicación geográfica del proyecto.

La simulación en TRNSYS consideró datos climatológicos específicos (Type9c y Type15-3) para la región, asegurando que la radiación solar disponible sea suficiente para alcanzar las temperaturas requeridas por el sistema.

4.2.1 Configuraciones a evaluar

Se analizaron tres configuraciones distintas de área de apertura del colector, 200 m², 300 m², 400 m², evaluando cada una de ellas con variaciones en el caudal del fluido caloportador de $100 \frac{kg}{h}$, $150 \frac{kg}{h}$ y $200 \frac{kg}{h}$. Estas variaciones proporcionarán perspectivas sobre cómo diferentes

áreas de apertura del colector y caudales afectan la eficiencia del sistema en la captación de energía solar y su transferencia efectiva al LDPE.

4.3 Fase 3 – Prefactibilidad económica de la configuración propuesta

Se evaluó la viabilidad económica de implementar un sistema solar térmico en el proceso de extrusión de mangueras, mediante un análisis detallado del consumo energético actual y los costos asociados. Se calculó el consumo diario y mensual de energía eléctrica de la empresa, basado en una tarifa específica, se determinó el porcentaje de ahorro energético mensual utilizando diferentes configuraciones de área de apertura del colector solar y flujos de fluido caloportador.

Se propuso la integración de un sistema de almacenamiento de energía solar para optimizar los ahorros mensuales, aprovechando los períodos de alta radiación solar. Los resultados muestran variaciones estacionales significativas en los ahorros energéticos y económicos, Para calcular el porcentaje de reemplazo del sistema de calefacción en el proceso de extrusión, se debe tener en cuenta el tiempo de operación del sistema, la duración del turno de trabajo de 10 horas y la energía requerida para fundir el material; finalmente esto nos permite evaluar la contribución del sistema de calefacción al proceso de extrusión.

El porcentaje de reemplazo se determina dividiendo el tiempo en que el sistema de calefacción que está operando entre la duración del turno de trabajo, multiplicado por la proporción de la energía necesaria para fundir el material respecto a la energía total del proceso.

$$\% = \frac{\text{Tiempo de Operación del sistema (h)}}{\text{Duración del Turno (h)}} * \frac{\text{Calor requerido para producir la manguera } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{h}}\right)}{\text{Calor requerido para producir la manguera } \left(\frac{\text{Wh}}{\text{h}}\right)} * 100 \quad (\text{Ec. 2})$$

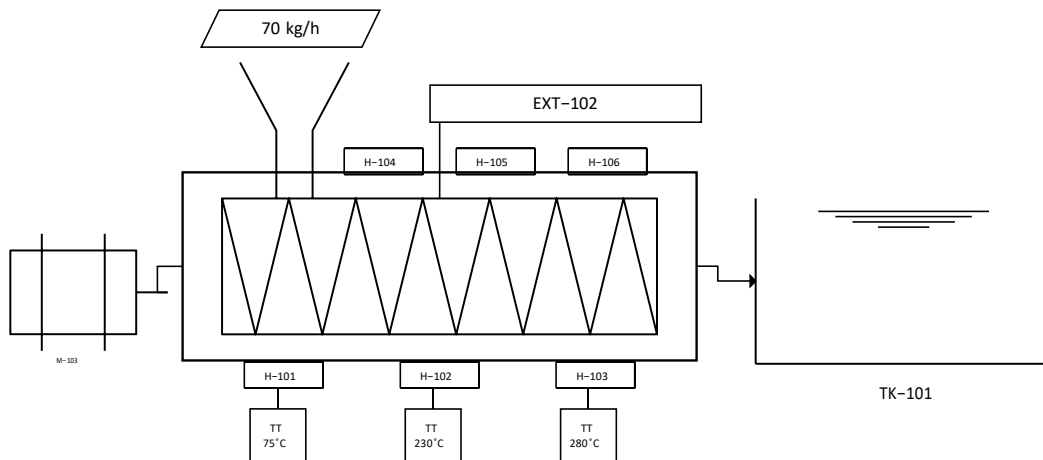
5. Resultados

5.1 Caracterización del proceso productivo de manguera de riego

Se pudo evidenciar que la empresa labora 5 días a la semana, de lunes a viernes un turno de 10 horas. La empresa produce manguera de distintos diámetros y calibres, siendo el más representativo el diámetro de $\frac{3}{4}$ de pulgada. De este tipo se producen 40 rollos de manguera de riego de 100 metros de longitud con un consumo de plástico de $70 \frac{kg}{h}$. El material se alimenta a la extrusora en forma de pellets y a temperatura ambiente. En la Figura 4, se muestra el esquema de una extrusora, indicándose el perfil de temperatura al interior de esta el cual va desde los $75^{\circ}C$ a la entrada hasta $280^{\circ}C$ a la salida. En el apéndice A y apéndice B se muestra el esquema completo de producción de manguera de riego a partir de plástico reciclado.

Figura 4

Diagrama de Flujo proceso de extrusión de manguera de riego

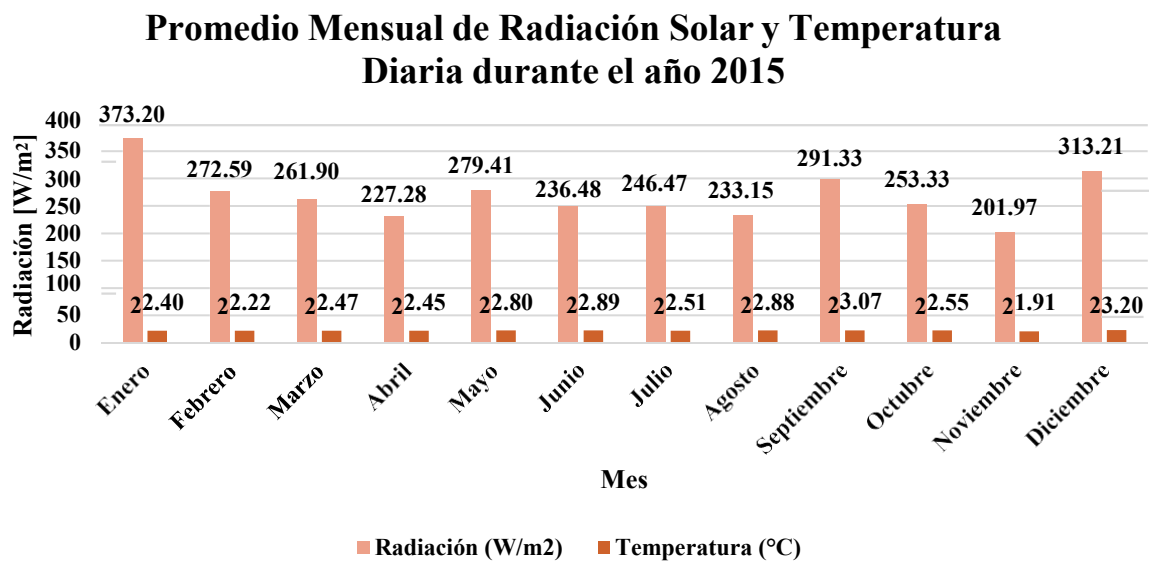


5.2 Perfil de radiación solar incidente en la ubicación geográfica de la empresa de estudio

La empresa se encuentra ubicada en el municipio de Girón, Santander, Colombia. Se tomó como referencia el parque central del casco urbano del municipio. Para la caracterización del potencial de radiación solar, se empleó el sistema de datos Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS - Joint Research Centre, European Commission), como fuente de información. Se extrajeron datos de temperatura promedio y radiación solar para el año 2015 (Último año disponible) expuestos en la Figura 5, los cuales fueron utilizados para realizar un perfil mes a mes. Tanto el promedio de temperatura como de radiación solar se calcularon teniendo en cuenta las horas de radiación solar diarias disponibles.

Figura 5

Caracterización de perfil de radiación para el año 2015



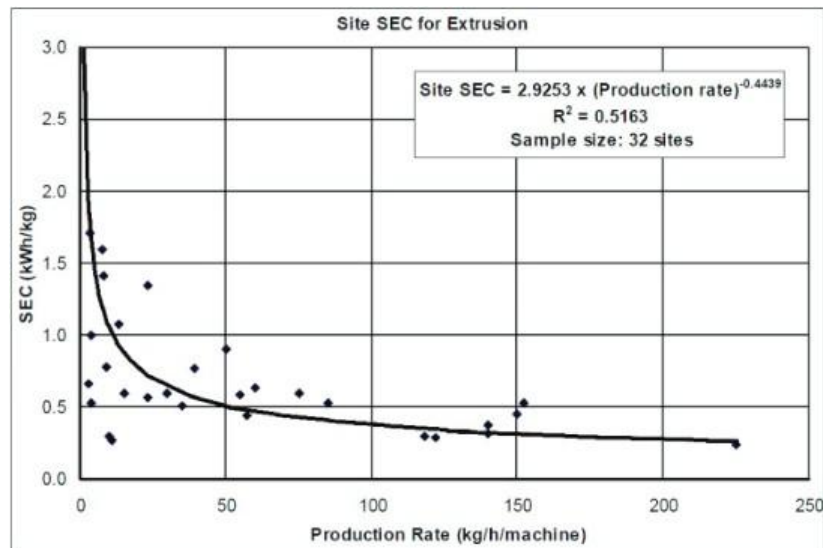
5.3 Cálculo de consumo energético en extrusión de plástico reportado en la literatura

Para determinar el consumo energético específico en el proceso de extrusión, se utilizó la correlación matemática de ICIPC que relaciona el flujo de material con el consumo energético de la extrusora (Vargas, Posada, Jaramillo, & García, 2015).

La correlación utilizada es presentada en la Figura 6 y en la Ec. 3.

Figura 6

Consumos específicos de energía de empresas de extrusión de acuerdo en el ICIPC



Nota. Adaptado de (Vargas, Posada, Jaramillo, & García, 2015)

Transcribimos la ecuación del consumo de energía específico, en la Ec. 3:

$$SEC = 2.9253 * (Production Rate)^{-0.4439} \quad (Ec.3)$$

Donde,

SEC: Consumo energético específico de la extrusora $\left[\frac{kWh}{kg}\right]$

Production Rate: Flujo de material procesado $\left[\frac{kg}{h}\right]$

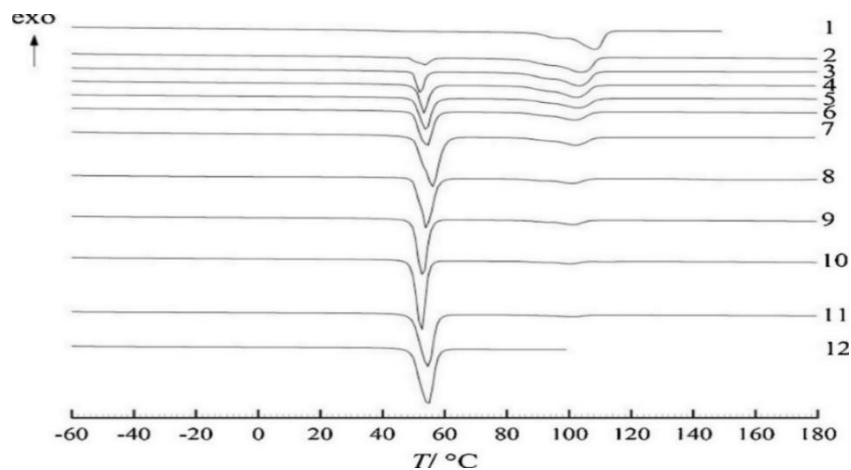
En este caso, se dispone de un flujo de material de $70 \frac{kg}{h}$. Aplicando la correlación de la Ec. 3. Obtenemos que el consumo específico de energía por kilogramo de materia prima, es $0,444 \frac{kWh}{kg}$, teniendo en cuenta que la cantidad de material que ingresa en un turno de 10 horas es de 700 kg, la cantidad de energía consumida es $310,8kWh$ durante un turno de trabajo.

5.4 Análisis de propiedades térmicas basado en Diagrama de DSC para el LDPE reportado en la literatura

Se seleccionaron 2 artículos como material de referencia para el análisis, los cuales reportan que, según (Pochilav, y otros, 2018) el pico de fusión para el LDPE puro se da en los $116^{\circ}C$, mientras que según (Basko, y otros, 2020), la temperatura de fusión se encuentra en $108^{\circ}C$ y la temperatura de cristalización en $92^{\circ}C$.

Figura 7

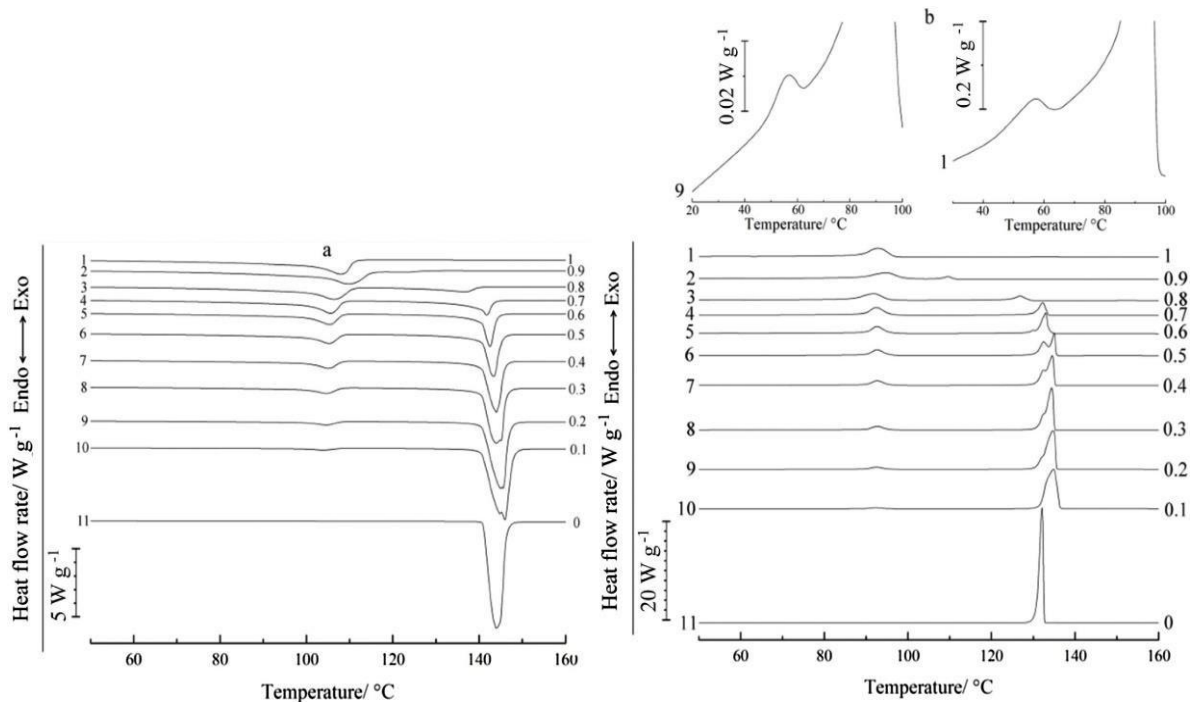
Experimento de calorimetría y los termogramas registrados para LDPE y sus mezclas



Nota. Tomado de (Pochilav, y otros, 2018). En la Figura 7, la línea numero 1 representa el LPDE puro, mientras que desde la línea 2 a la 12 representan las mezclas realizadas en el estudio. En la línea 1, para el LPDE se observa una curvatura antes del pico máximo en el proceso de fusión, indicando que este proceso se da en dos etapas.

Figura 8

Curvas registradas del análisis DSC para LPDE y sus mezclas



Nota. Adaptado de (Basko, y otros, 2020). En la Figura 8, en ambas graficas a y b, la línea numero 1 corresponde a LDPE puro, del 2 al 11 corresponde a mezclas realizadas en el experimento.

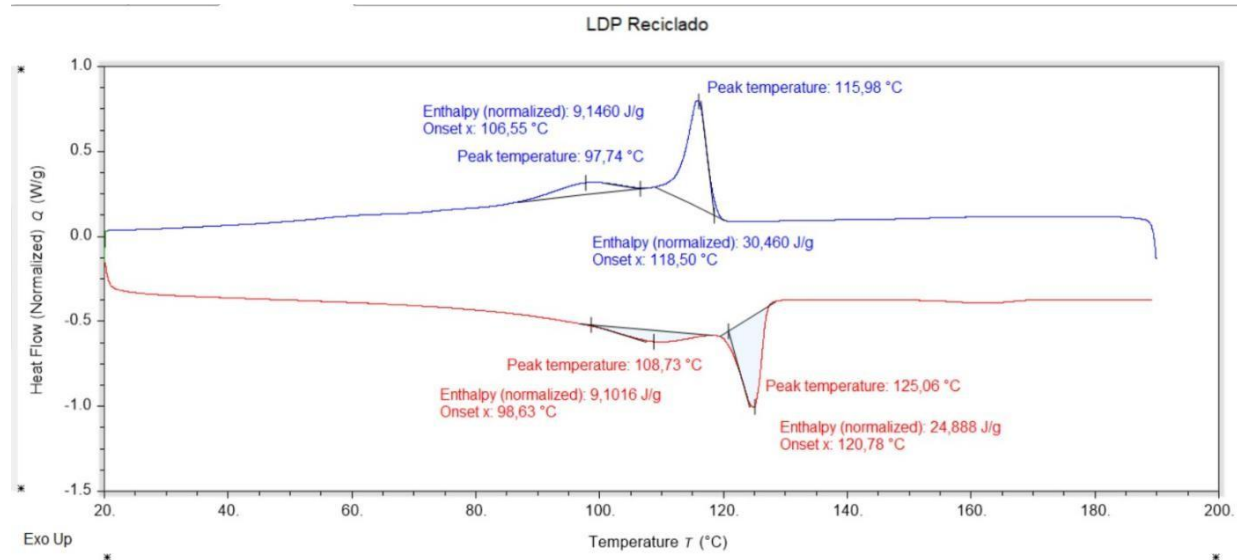
5.5 Caracterización de propiedades térmicas del LDPE

La Figura 9 presenta los resultados obtenidos del análisis DSC de la muestra, la línea roja se obtuvo durante el proceso de fusión, mientras que la línea azul indica el proceso de cristalización. Tanto para la fusión como para la cristalización se identificaron dos señales, indicando que estos procesos se dan en dos momentos.

Este resultado es similar al obtenido por Pochilav, Basko, Lebedeva, Antina, Artemov, Ezhov y Golovanov en 2018, donde se exalta que, la presencia de moléculas diferentes en el material en el caso de los polímeros se da por diferencias de pesos moleculares. En la Tabla 3 se presentan los valores de temperaturas y entalpías de fusión y cristalización.

Figura 9

Perfil de flujo calor obtenido para el análisis de calorimetría diferencial de barrido de la muestra de manguera de riego

**Tabla 3**

Características de temperatura y entalpias de fusión y cristalización

Pico	Temperatura (°C)	Entalpia (J/g)
Primer pico de cristalización	115,98	30,460
Segundo pico de cristalización	97,4	9,1460
Primer pico de fusión	108,73	9,1016
Segundo pico de fusión	125,06	24,888

5.6 Estimación de la demanda teórica de calor

A partir del análisis DSC, se determinaron las dos capacidades caloríficas del LDPE, una para su estado sólido y otra para líquido, $2,9263 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}$ y $2,380 \frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C}$, respectivamente. Estas capacidades caloríficas se calcularon como el promedio de la capacidad calorífica a 25 °C y 100 °C para la capacidad calorífica de sólido y entre 140 °C y 280 °C para la capacidad calorífica de líquido. Además, se obtuvo la entalpia de fusión con un valor de $33,99 \frac{kJ}{kg}$.

Para la estimación de la demanda teórica de calor se tomó como base de cálculo un flujo de $70 \frac{kg}{h}$ de material, corresponde al flujo de trabajo de una extrusora para producción de manguera de $\frac{3}{4}$ de pulgada. El cálculo de calor se dividió en las siguientes 3 etapas:

Etapas 1: Calor sensible del material sólido, reemplazamos la Ec. 1, desde la temperatura ambiente hasta donde empieza el proceso de fusión del material.

$$= (70 \frac{kg}{h}) \cdot (2,963 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}) \cdot (98^\circ C - 25^\circ C)$$

El calor sensible del material sólido es $15.142,09 \frac{kJ}{h}$

Etapas 2: Calor latente de fusión, está dado por el delta de entalpia de fusión (ΔH_f) hallado en el análisis DSC y multiplicado por el flujo másico:

$$Q = \dot{m} \cdot \Delta H_f \text{ (Ec. 4)}$$

$$\text{Reemplazado la Ec. 3, } Q = (70 \frac{kg}{h}) \cdot (33,99 \frac{kJ}{kg})$$

El calor latente de fusión en el proceso de extrusión de LDPE para producir manguera de riego es $2.379,27 \frac{kJ}{kg}$.

Etapas 3: Calor sensible del material líquido, reemplazamos la Ec. 1 desde la temperatura donde el material está completamente fundido hasta donde la temperatura máxima que maneja la extrusora.

$$Q = (70 \frac{kg}{h}) \cdot (2,38 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}) \cdot (280^\circ C - 128^\circ C)$$

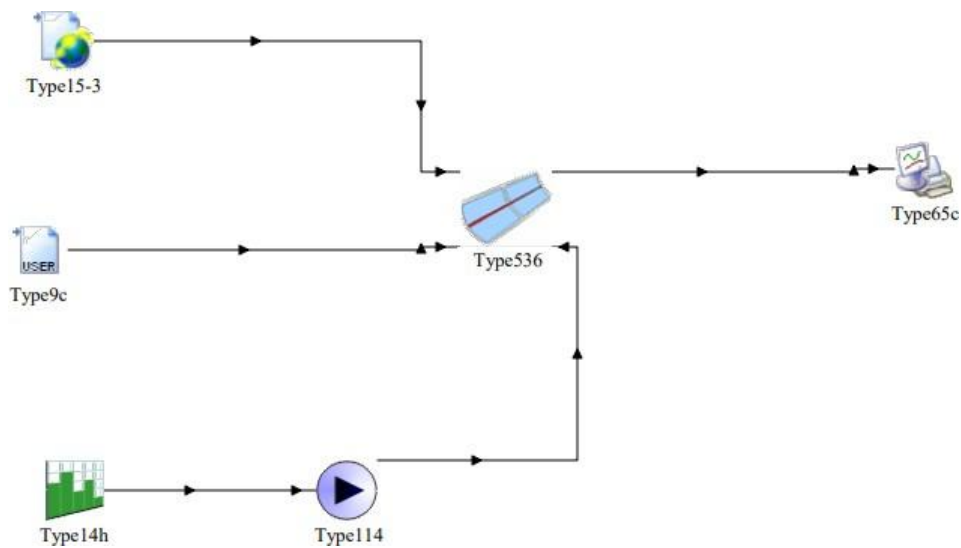
El calor sensible del material líquido es $25.318,23 \frac{kJ}{h}$.

5.7 Sistema para el aprovechamiento de energía solar térmica

El diseño del sistema solar térmico limita la temperatura de salida del fluido caloportador a 200 °C, con una temperatura de entrada de 90 °C. Por ello, se propone sustituir parcialmente el proceso de fusión del LDPE, utilizando el sistema para elevar la temperatura del material hasta 130 °C. La formación de la manguera seguirá utilizando resistencias eléctricas para alcanzar los 280 °C necesarios, este proceso se detalla en la simulación en TRNSYS, como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

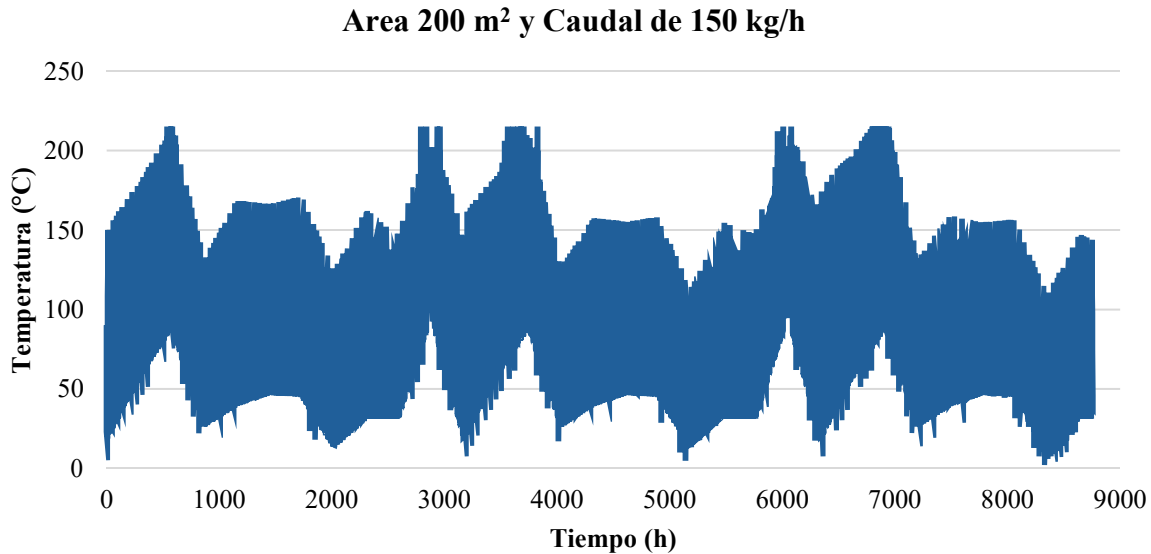
Topología de la simulación de Sistema de Energía Solar Térmica



Para cada condición a evaluar se ejecutó una simulación del comportamiento del sistema durante un año, en la Figura 11 se presenta un ejemplo del perfil de temperatura obtenido. El software Trnsys presenta como variables de respuesta el comportamiento hora a hora de la temperatura de salida del fluido caloportador y la energía absorbida por este durante su paso por los colectores. Realizamos la simulación para un año calendario, equivalente a 8760 horas.

Figura 11

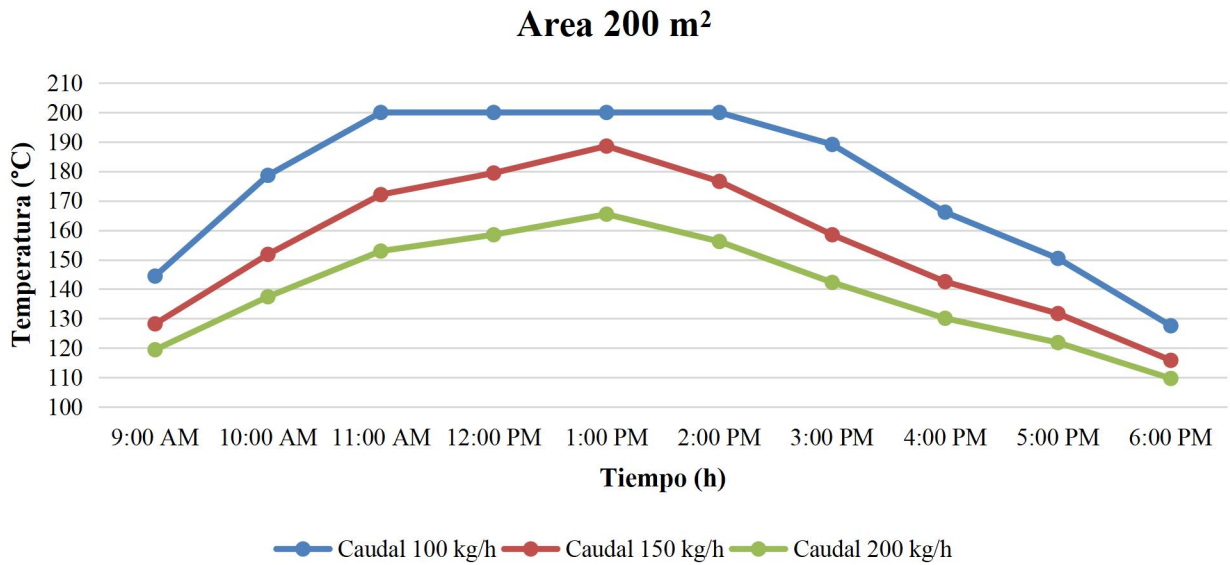
Perfil de temperatura obtenido para un área de 200 m² con un caudal de 150 kg/h durante 8760 horas

**5.8 Variación del área de apertura de radiación y flujo de fluido caloportador**

Para evaluar la capacidad operativa del sistema, se analizó diariamente las horas en las que la temperatura del fluido caloportador a la salida de los colectores superó los 130°C y donde la cantidad de energía absorbida fuese mayor a la demandada. La demanda de calor se estableció en $17.521,36 \frac{kJ}{h}$ siendo la suma del calor sensible de sólido y el calor latente de fusión para fundir 70 kg de material en 1 hora. En las Figuras 12, 13 y 14, se presentan la temperatura del fluido caloportador a la salida de los colectores en función de la hora del día, para las tres áreas y los tres flujos definidos. En las Figuras 15, 16 y 17 se presenta la energía absorbida por el fluido caloportador en función de la hora del día, para las diferentes áreas y flujos evaluados.

Figura 12

Temperatura del fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 200m^2

**Figura 13**

Temperatura del fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 300m^2

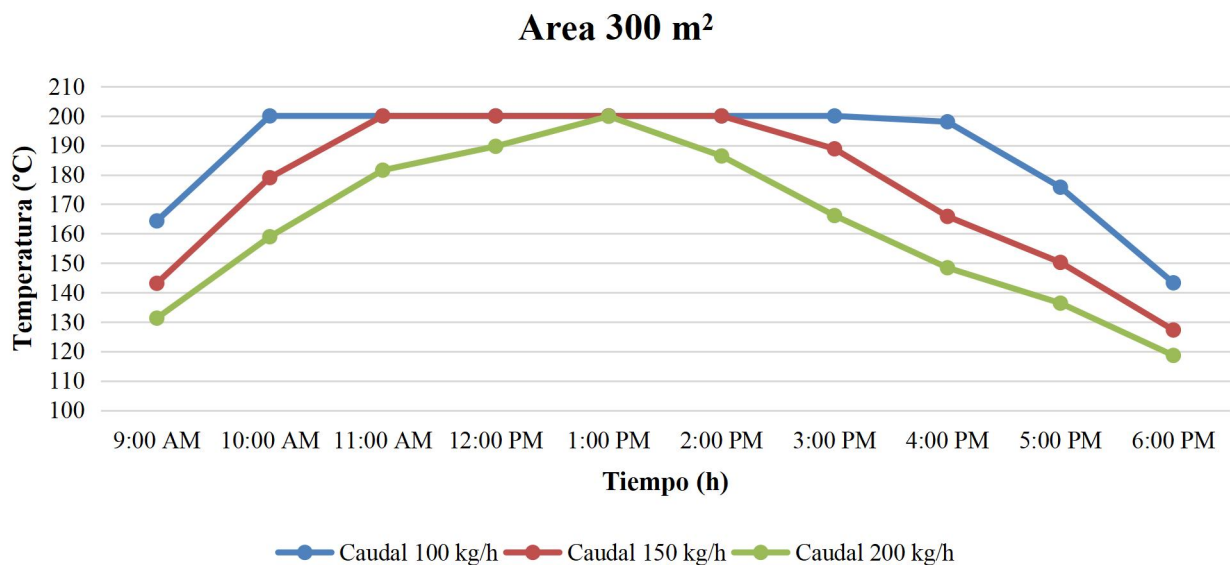
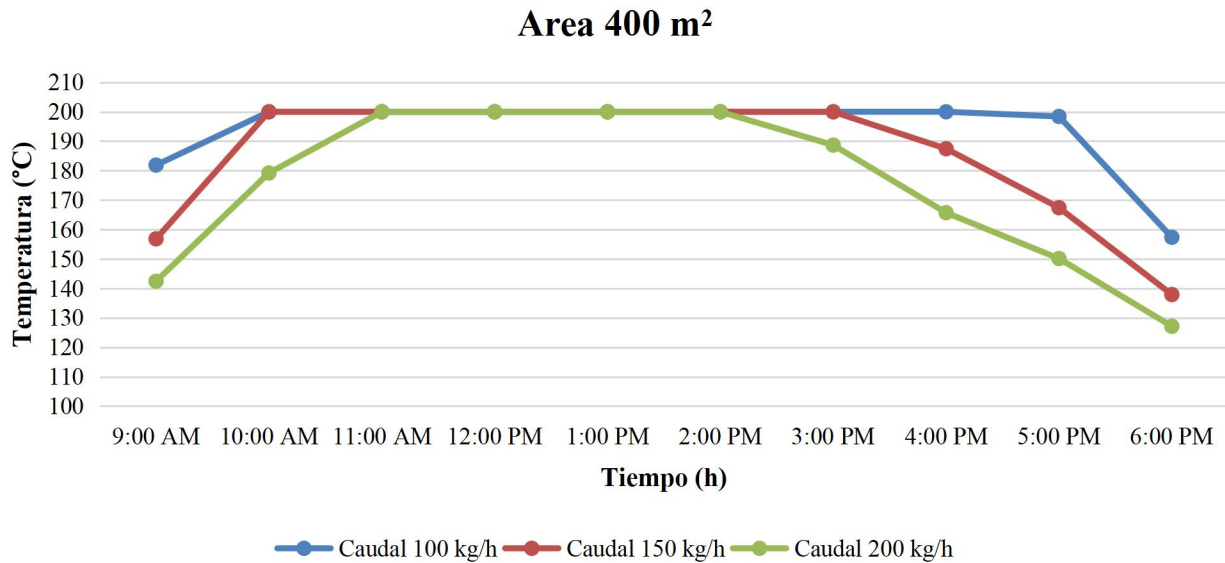


Figura 14

Temperatura del fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 400m^2

**Figura 15**

Energía absorbida por el fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 200m^2

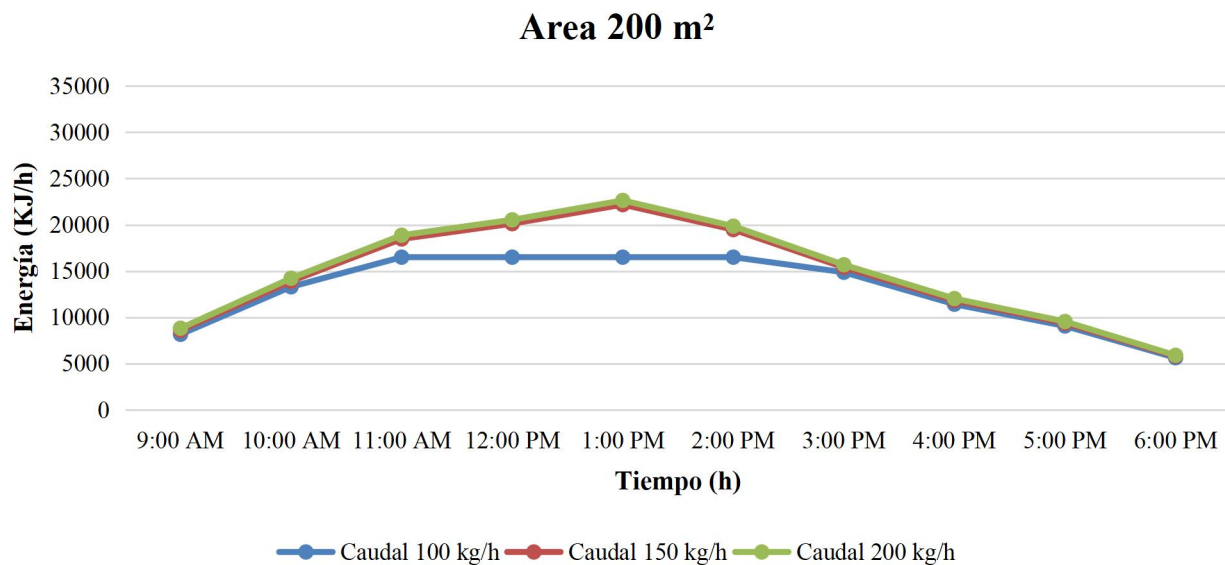
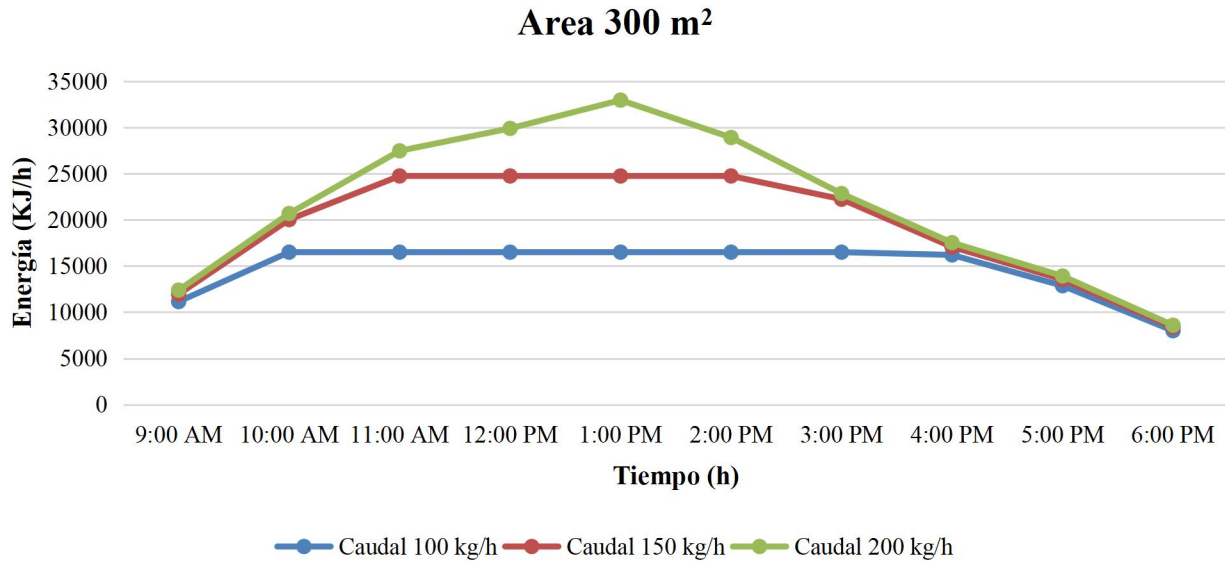
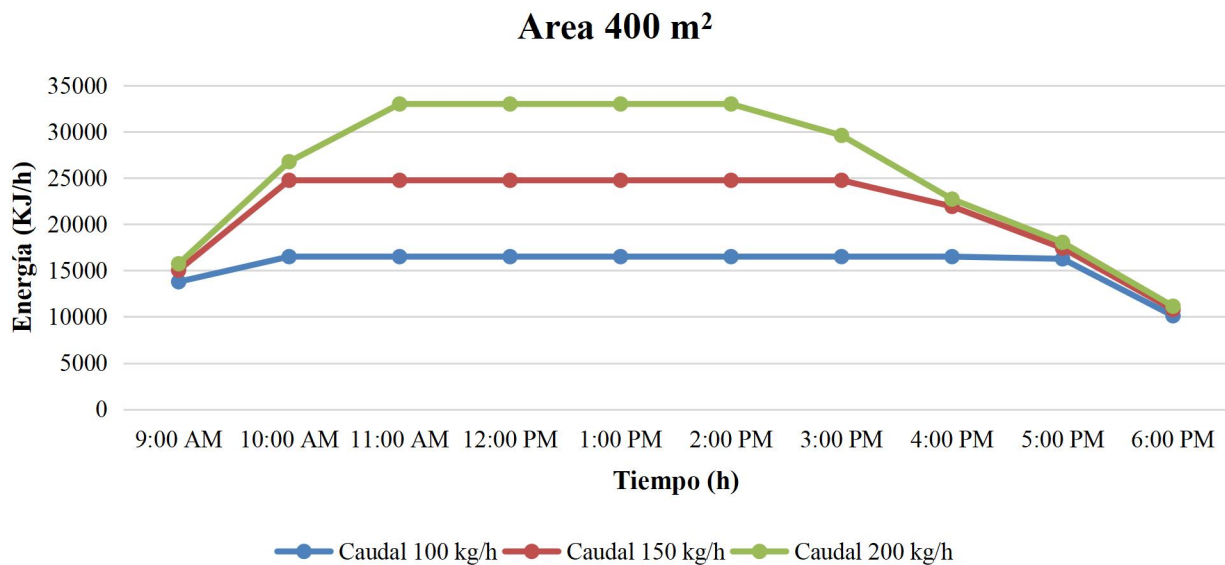


Figura 16

Energía absorbida por el fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 300m^2

**Figura 17**

Energía absorbida por el fluido caloportador a la salida del colector en función de la hora del día para un área en 400m^2



Los resultados muestran que, para todas las configuraciones evaluadas, el factor limitante para la operación del sistema es la cantidad de energía absorbida. Por ejemplo, para un flujo de $100 \frac{kg}{h}$ de fluido caloportador, si bien se supera la temperatura de $130^{\circ}C$ con relativa facilidad para las 3 áreas evaluadas, la demanda de energía no es superada. En la tabla 4 se presentan el número de horas en que el sistema operó por encima de $130^{\circ}C$ y por encima de los 17.521,36 kJ/h.

Tabla 4

Horas efectivas de operación del sistema en función del área de apertura del colector y el caudal del fluido térmico caloportador

Área [m ²]	Caudal [—]	Tiempo de operación según criterio de temperatura mínima [h]	Tiempo de operación según criterio de energía mínima [h]
200	100	9	0
	150	8	4
	200	6	4
300	100	10	0
	150	9	6
	200	9	7
400	100	10	0
	150	10	7
	200	9	8

5.9 Prefactibilidad económica de la configuración propuesta

Para evaluar la viabilidad económica de implementar un sistema solar térmico en el proceso de extrusión de mangueras, se realizaron cálculos detallados del porcentaje de ahorro energético mensual y el costo asociado.

La empresa actualmente consume 310,8 kWh diarios, lo que equivale a un consumo mensual de 11.124 kWh, considerando 30 días de trabajo al mes. Según el tarifario de la Electricidad de Santander (ver apéndice C), el costo de la tarifa no residencial es de \$1.061,36

por kWh. De esta manera, el costo mensual de la energía eléctrica consumida por la extrusora de mangueras asciende a \$11.806.568,64.

5.9.1 Cálculo de Reemplazo Energético y Ahorro Realizando el cálculo para las diferentes configuraciones de determinar el porcentaje de ahorro o reemplazo de energía eléctrica mediante el uso de colectores solares térmicos, se evaluaron las diferentes configuraciones de área de apertura del colector y los distintos flujos de fluido caloportador. Las Tabla 5 y 6, presentan los porcentajes de ahorro energético y el ahorro económico mensual para cada configuración y mes, respectivamente. Por ejemplo, en enero, la configuración de 400 m² con un flujo de 200 kg/h alcanzó un ahorro del 22,36%, traducándose en un ahorro económico de \$2.211.355. En meses como octubre, esta misma configuración logró un ahorro del 21,95%, equivalente a \$2.170.904.

Tabla 5

Porcentaje de Ahorro o Reemplazo Energético Mensual sin Almacenamiento

Mes	Configuraciones área de apertura del colector					
	200 m ²	200 m ²	300 m ²	300 m ²	400 m ²	400 m ²
	Flujo del fluido caloportador					
	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h
Enero	6,13%	6,82%	15,13%	16,91%	19,77%	22,36%
Febrero	0,00%	0,00%	2,04%	4,23%	4,50%	8,59%
Marzo	0,00%	0,00%	2,45%	3,95%	4,09%	7,09%
Abril	1,64%	1,91%	5,18%	6,54%	7,36%	10,50%
Mayo	2,86%	4,23%	11,18%	13,77%	15,27%	18,13%
Junio	4,91%	5,32%	9,82%	10,63%	11,86%	12,95%
Julio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,82%	4,91%
Agosto	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,50%
Septiembre	5,45%	7,23%	12,54%	14,45%	16,36%	18,81%
Octubre	9,82%	10,77%	16,63%	18,13%	20,31%	21,95%
Noviembre	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,55%	6,00%
Diciembre	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,77%
Promedio	2,57%	3,02%	6,25%	7,38%	8,41%	11,21%

Tabla 6*Ahorro Económico Mensual sin Almacenamiento (\$COP)*

Mes	Configuraciones área de apertura del colector					
	200 m ²	200 m ²	300 m ²	300 m ²	400 m ²	400 m ²
	Flujo del fluido caloportador					
	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h
Enero	\$ 606.774	\$ 674.194	\$ 1.496.710	\$ 1.672.000	\$ 1.955.162	\$ 2.211.355
Febrero	\$ 0	\$ 0	\$ 202.258	\$ 418.000	\$ 444.968	\$ 849.484
Marzo	\$ 0	\$ 0	\$ 242.710	\$ 391.032	\$ 404.516	\$ 701.161
Abril	\$ 161.806	\$ 188.774	\$ 512.387	\$ 647.226	\$ 728.129	\$ 1.038.258
Mayo	\$ 283.161	\$ 418.000	\$ 1.105.678	\$ 1.361.871	\$ 1.510.194	\$ 1.793.355
Junio	\$ 485.419	\$ 525.871	\$ 970.839	\$ 1.051.742	\$ 1.173.097	\$ 1.280.968
Julio	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 80.903	\$ 485.419
Agosto	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 148.323
Septiembre	\$ 539.355	\$ 714.645	\$ 1.240.516	\$ 1.429.291	\$ 1.618.065	\$ 1.860.774
Octubre	\$ 970.839	\$ 1.065.226	\$ 1.645.033	\$ 1.793.355	\$ 2.009.097	\$ 2.170.904
Noviembre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 53.935	\$ 593.290
Diciembre	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 175.290
Total Anual	\$ 3.047.354	\$ 3.586.710	\$ 7.416.131	\$ 8.764.517	\$ 9.978.066	\$ 13.308.581

5.9.2 Propuesta de Almacenamiento de Energía: Para maximizar el ahorro mensual, se propone la implementación de un sistema de almacenamiento de energía solar. En días con alta radiación solar, como los que alcanzan 17.521,36kJ/h, el excedente de energía puede almacenarse para su uso posterior, disminuyendo aún más el consumo de energía eléctrica de la empresa.

Esto se refleja en las Tablas 7 y 8, donde se muestran los porcentajes de ahorro con almacenamiento y los ahorros económicos correspondientes. Por ejemplo, en octubre, la configuración de 400 m² con un flujo de 200 kg/h alcanzó un ahorro del 40,90%, lo que se tradujo en un ahorro económico de \$4.045.162.

Tabla 7

Porcentaje de Ahorro o Reemplazo Energético Mensual con Almacenamiento

Mes	Configuraciones área de apertura del colector					
	200 m ²	200 m ²	300 m ²	300 m ²	400 m ²	400 m ²
	Flujo del fluido caloportador					
	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h
Enero	6,97%	7,83%	19,26%	23,38%	26,08%	34,00%
Febrero	0,84%	1,01%	6,24%	11,09%	11,38%	21,74%
Marzo	0,84%	1,01%	6,76%	11,33%	11,68%	21,81%
Abril	2,65%	3,18%	10,89%	15,92%	17,18%	29,56%
Mayo	4,24%	6,05%	19,52%	27,15%	29,65%	40,90%
Junio	6,97%	7,92%	21,26%	28,68%	30,42%	40,90%
Julio	2,06%	2,61%	11,44%	18,05%	19,39%	40,62%
Agosto	2,06%	2,61%	11,44%	18,05%	18,57%	37,25%
Septiembre	8,43%	11,26%	27,51%	38,38%	40,16%	40,90%
Octubre	14,81%	17,31%	36,90%	40,90%	40,90%	40,90%
Noviembre	5,00%	6,54%	20,27%	32,96%	31,34%	40,90%
Diciembre	5,00%	0,00%	20,27%	32,96%	30,79%	40,90%
Promedio	4,99%	5,61%	17,65%	24,90%	25,63%	35,87%

Tabla 8

Ahorro Económico Mensual con Almacenamiento (\$COP)

Mes	Configuraciones área de apertura del colector					
	200 m ²	200 m ²	300 m ²	300 m ²	400 m ²	400 m ²
	Flujo del fluido caloportador					
	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h	150 kg/h	200 kg/h
Enero	\$ 689.779	\$ 774.203	\$ 1.905.077	\$ 2.312.500	\$ 2.579.525	\$ 3.363.195
Febrero	\$ 83.005	\$ 100.009	\$ 617.109	\$ 1.096.592	\$ 1.125.751	\$ 2.150.286
Marzo	\$ 83.005	\$ 100.009	\$ 668.717	\$ 1.120.781	\$ 1.155.300	\$ 2.156.834
Abril	\$ 262.132	\$ 314.733	\$ 1.077.377	\$ 1.575.025	\$ 1.699.460	\$ 2.923.412
Mayo	\$ 419.114	\$ 598.037	\$ 1.930.399	\$ 2.684.811	\$ 2.932.459	\$ 4.045.162
Junio	\$ 689.044	\$ 783.660	\$ 2.102.371	\$ 2.836.534	\$ 3.008.633	\$ 4.045.162
Julio	\$ 203.625	\$ 257.789	\$ 1.131.532	\$ 1.784.792	\$ 1.917.454	\$ 4.017.641
Agosto	\$ 203.625	\$ 257.789	\$ 1.131.532	\$ 1.784.792	\$ 1.836.551	\$ 3.684.311
Septiembre	\$ 834.093	\$ 1.114.136	\$ 2.721.302	\$ 3.796.256	\$ 3.972.322	\$ 4.045.162
Octubre	\$ 1.464.970	\$ 1.712.136	\$ 3.649.791	\$ 4.045.162	\$ 4.045.162	\$ 4.045.162
Noviembre	\$ 494.131	\$ 646.910	\$ 2.004.759	\$ 3.259.545	\$ 3.099.577	\$ 4.045.162
Diciembre	\$ 494.131	\$ 0	\$ 2.004.759	\$ 3.259.545	\$ 3.045.642	\$ 4.045.162
Total Anual	\$ 5.920.654	\$ 6.659.411	\$ 20.944.725	\$ 29.556.335	\$ 30.417.836	\$ 42.566.651

5.9.3 Proyección de Ahorro Anual y Vida Útil del sistema: Los datos de entrada indican que el costo unitario por metro cuadrado es de \$800,000 COP. la inversión inicial se calcula sumando un 40% al costo del área del colector para la opción sin almacenamiento y un 60% para la opción con almacenamiento, considerando costos indirectos, márgenes de seguridad y gastos de instalación. En las Tablas 9 y 10 se muestra el ahorro anual proyectado hasta 30 años al instalar sistemas con y sin almacenamiento, comenzando con el ahorro estimado en el año cero según las Tablas 6 y 8. Se estima el ahorro en años posteriores considerando un aumento anual del 5% en el costo del kWh. La vida útil del sistema se establece en 30 años, conforme a lo común en esta tecnología. Según Echeverría, quien investigó sistemas de colectores parabólicos, la vida útil de estos sistemas varía de 20 a 30 años, y se incluye una ficha técnica detallada en el Apéndice D que estima una vida útil de más de 20 años para estos colectores.

Tabla 9

Proyección de ahorro anual para el sistema sin almacenamiento de calor

Sin almacenamiento						
Costo de Inversión por Área (m²)						
	200		300		400	
Flujo anual de ahorro	-\$	177.777.778	-\$	266.666.667	-\$	355.555.556
0	\$	3.586.710	\$	8.764.517	\$	13.308.581
6	\$	4.806.534	\$	11.745.291	\$	17.834.772
12	\$	6.441.216	\$	15.739.814	\$	23.900.302
18	\$	8.631.846	\$	21.092.856	\$	32.028.690
24	\$	11.567.499	\$	28.266.445	\$	42.921.509
30	\$	15.501.554	\$	37.879.739	\$	57.518.927

Tabla 10

Tabla 9 Proyección de ahorro anual para el sistema con almacenamiento de calor

Con almacenamiento						
Costo de Inversión por Área (m²)						
	200		300		400	
Flujo anual de ahorro	-\$	266.666.667	-\$	400.000.000	-\$	533.333.333
0	\$	6.659.411	\$	29.556.335	\$	42.566.651
6	\$	8.924.248	\$	39.608.317	\$	57.043.385
12	\$	11.959.346	\$	53.078.934	\$	76.443.592
18	\$	16.026.668	\$	71.130.848	\$	102.441.725
24	\$	21.477.268	\$	95.322.140	\$	137.281.709
30	\$	28.781.593	\$	127.740.785	\$	183.970.620

5.9.4 Evaluación Financiera: En las tablas 11 y 12, se realizó la evaluación financiera utilizando Tasa Interna de Retorno (TIR) y Valor Presente Neto (VPN), muestran que las configuraciones sin almacenamiento tienen TIR del 2% al 6%, lo que las hace menos atractivas económicamente. En contraste, las opciones con almacenamiento exhiben TIR del 3% al 12%, especialmente destacándose en configuraciones

de 300m² y 400m² con flujo de fluido caloportador de $200 \frac{kg}{h}$, esto sugiere que proyectos futuros deberían avanzar en su ingeniería de detalle, considerando costos de operación y variables para determinar la TIR efectiva y garantizar su viabilidad económica por encima del umbral del 10%.

Tabla 11

Evaluación financiera sin almacenamiento

Sin almacenamiento						
Costo de Inversión por Área (m²)						
	200		300		400	
	-\$	177.777.778	-\$	266.666.667	-\$	355.555.556
TIR	2%		5%		6%	
VPN	\$	54.774.379	\$	133.847.169	\$	203.241.773

Tabla 12*Evaluación financiera con almacenamiento*

Con almacenamiento						
Costo de Inversión por Área (m²)						
	200		300		400	
	-\$	266.666.667	-\$	400.000.000	-\$	533.333.333
TIR	3%		11%		12%	
VPN	\$	101.699.081	\$	451.369.063	\$	650.055.871

6. Conclusiones

La integración de energía solar térmica es una alternativa factible para reducir significativamente el consumo de energía en el proceso de extrusión de plástico para la producción de manguera de riego. Esta alternativa se traduciría en una disminución considerable de las demandas de electricidad y cargas sobre la red eléctrica nacional.

Se demuestra que es técnica y económicamente factible una sustitución parcial del uso de electricidad, hasta un 40.9%, impulsando este sector hacia prácticas más sostenibles en la industria, al utilizar plástico reciclado y energía solar térmica. De esta forma se promueve la economía circular y se contribuye activamente a la mitigación del cambio climático y la conservación de recursos naturales

Es necesario plantear configuraciones que contemplen el almacenamiento de energía solar con el fin de aprovechar al máximo la radiación solar disponible. La configuración de 400 m² con un flujo de 200 kg/h es la que ofrece el mayor ahorro económico anual, alcanzando \$42.566.651.

Proyectando a 30 años, los sistemas con almacenamiento exhiben tasas internas de retorno (TIR) del 3% al 12%, junto con valores presentes netos (VPN) positivos, destacando su capacidad para ofrecer beneficios económicos sostenidos. Estos hallazgos subrayan la robustez financiera de la inversión en energía solar térmica para mejorar la eficiencia operativa y reducir los costos a largo plazo en el proceso industrial de la empresa.

Referencias Bibliográficas

- ACCIONA | Business as unusual. (s.f.). *¿Qué beneficios tiene la energía solar?* Obtenido de https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=11734293023
- Barone, G., Buonomano, C., Forzano, C., & Palombo, A. (2019). Chapter 6 - solar thermal collector. En F. Calise, M. D'Accadia, M. Santarelli, A. Lanzini, & D. Ferrero, *Solar Hydrogen Production* (págs. 151-178). Academic Press.
- Basko, V., Pochivalov, V., Bazanov, V., Shandryuk, A., Ezhov, A., Artemov, V., & Kudrvavtsev, V. (2020). Phase diagram of the low-density polyethylene – dimethyl terephthalate system: A new topology. *Science Direct*, 178-499.
- Bie, Y., Li, Z., Lei, J., Ma, Z., Li, M., Królczyk, G., & Li, W. (2020). Solar medium-low temperature thermal utilization and effect analysis of boundary condition: A tutorial. *Science Direct*, 238 - 253.
- Bravo, D. (2018). A Survey of Materials for Solar Thermal Energy. En U. S. Quito, *Revista Ingeniería* (págs. 144-165). Quito, Ecuador.
- Business & Human Rights. (03 de 07 de 2021). *Colombia: Carbon Market Watch launches the report “Two Shades of Green: How hot air forest credits are being used to avoid carbon taxes in Colombia”*. (Business & Human Rights Resource Centre) Recuperado el 19 de 10 de 2023, de <https://www.business-humanrights.org/en/latest-news/colombia-carbon-market-watch-launches-the-report-two-shades-of-green-how-hot-air-forest-credits-are-being-used-to-avoid-carbon-taxes-in-colombia/>

- Cabeza, L. (2021). Introduction to thermal Energy Storage Systems. En L. Cabeza, *Advances in Thermal Energy Storage Systems - Methods and Applications*. Elsevier.
- Carrión, C., Murillo, W., & Montero, A. (2022). A review of the state-of-the-art of solar thermal collectors applied in the industry. *INGENIUS Revista de Ciencia y Tecnología*, 59-71.
- Dollera, E., Corbita, N., Quitiol, M., Tagno-ay, J., & Trazona, G. (2019). Xu Solar Furnace For Recycled Plastic Lumbers. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8(10), 877-885.
- Echeverría, C. (02 de Septiembre de 2011). *Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con la aplicación para el calentamiento de agua*. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/2ef3e176-17ac-45f0-ad84-5970502c035d/content>
- ESSA. (Junio de 2024). *Fórmula tarifaria y tarifas*. Obtenido de <https://www.essa.com.co/site/mi-factura/formula-tarifaria-y-tarifas>
- Gao, D., Gao, G., Cao, J., Zhong, S., Ren, X., Dabwan, Y., . . . Pei, G. (2020). Experimental and numerical analysis of an efficiently optimized evacuated flat plate solar collector under medium temperature. En *Applied Energy* (págs. 115-129).
- Gonen, R. (2021). *The Waste-Free World: How the Circular Economy Will Take Less, Make More, and Save the Planet*. Portfolio.
- Harris, I. (28 de Febrero de 2023). *¿Qué son y para qué se utilizan los materiales de cambio de fase (PCM)?* Obtenido de <https://panamahitek.com/que-son-y-para-que-se-utilizan-los-materiales-de-cambio-de-fase-pcm/>

IDEAM; UPME. (2017). *ATLAS Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia*. Bogota: Imprenta Nacional de Colombia.

IEA. (23 de Enero de 2018). *Clean and efficient heat for industry - Analysis*. Obtenido de <https://www.iea.org/commentaries/clean-and-efficient-heat-for-industry>

IEA. (12 de 05 de 2021). *Energy Plan 2050 (Plan Energético Nacional Colombia: Ideario Energético 2050)*. (International Energy Agency) Recuperado el 19 de 10 de 2023, de <https://www.iea.org/policies/6297-energy-plan-2050-plan-energetico-nacional-colombia-ideario-energetico-2050>

International Trade Administration. (24 de 05 de 2021). *Colombia's Renewable Energy Industry*. (Official Website of the International Trade Administration) Recuperado el 19 de 10 de 2023, de <https://www.trade.gov/market-intelligence/colombias-renewable-energy-industry>

Inventive Power. (s.f.). *Power Trough 250*. Obtenido de <https://inventivepower.com.mx/solucion-en-energia-solar/power-trough-250/>

Juárez, D., Balart, R., Ferrándiz, S., & García, D. (28 de Noviembre de 2012). *ESTUDIO DE MATERIALES CON*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10251/34264>

Lozano Serrano, M. (2019). *Colectores Solares Térmicos*. España: Universidad de Zaragoza.

Mendez Muñiz, J. (2011). *Energía solar térmica*. Madrid: FC Editorial.

Monnet, W., Carrol, J., & Embery, P. (2018). Using Solar Thermal Collectors for Plastic Recycling in Additive Manufacturing. *UKH Journal of Science and Engineering*, 2(1), 43-47.

Moran, M. (26 de Enero de 2024). *Energía - Desarrollo sostenible*. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>

Ovacen. (s.f.). *Energía Renovable*. Obtenido de Energía Solar Térmica :
https://ovacen.com/energias-renovables/solar/termica/#google_vignette

Phorovoltaic Geographical Information System (PVGIS). (s.f.). *Sistema de Información geográfica fotovoltaica*. Obtenido de Versión 5.1:
https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#MR

Pochilav, V., Basko, V., Lebedeva, N., Antina, A., Artemov, V., Ezhov, A., & Golovanov, Y. (2018). Low-density polyethylene-thymol: Thermal behavior and phase diagram. *Science Direct*, 113-120.

Ravi, K., Krishna, N., & Sendhil, N. (2021). Solar thermal energy technologies and its applications for process heating and power generation - a review. *Cleaner Production*, 125-296.

Reciclaje Contemar. (29 de Marzo de 2023). *Plastics Technology*. Obtenido de Reciclaje del polietileno de baja densidad: proceso y beneficios:
<https://www.reciclajecontemar.es/como-se-recicla-el-polietileno-de-baja-densidad/>

Reyes, J., Zacarías, A., Jiménez, J., Donis, F., & Gutierrez, C. (2018). Modelado de un colector solar parabólico con motor Stirling para uso doméstico y pequeña industria. *MEMORIAS DEL XXIV CONGRESO INTERNACIONAL ANUAL DE LA SOMIM*, 145-150.

Sakthivadivel, D., Balaji, K., Dsilva, D., Iniyan, S., & Suganthi, L. (2021). Chapter 1 - solar energy technologies: principles and applications. En J. Ren, *Renewable Energy Driven* (págs. 3-42). Academic Press.

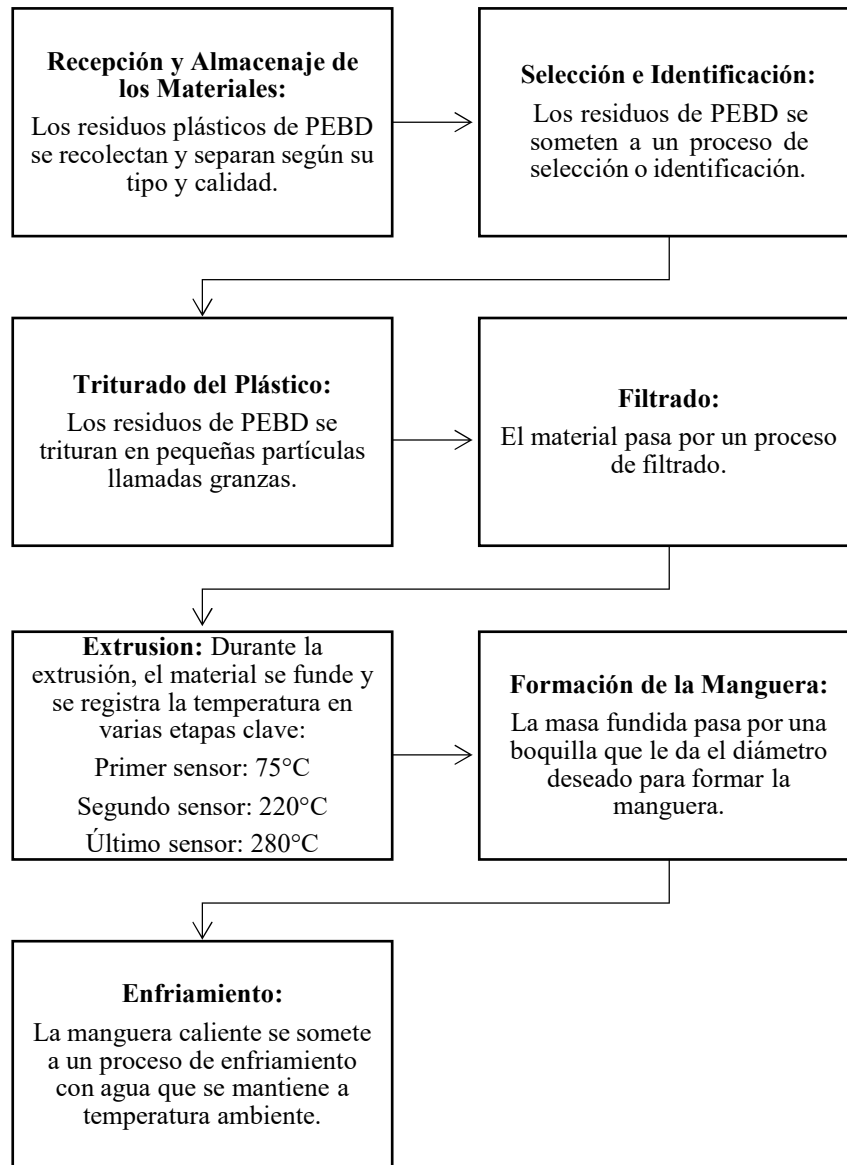
Suman, A., Khan, M., & Pathak, M. (2015). Performance enhancement of solar collectors - a review. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (págs. 192-210).

- The World Bank Group. (07 de 09 de 2022). *Colombia: Leading the Path to Sustainability in Latin America*. (The World Bank) Recuperado el 19 de 10 de 2023, de <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2022/08/31/colombia-leading-the-path-to-sustainability-in-latin-america>
- TRNSYS. (s.f.). *Biblioteca TESS*. Obtenido de Componentes individuales: <https://www.trnsys.com/tess-libraries/index.html>
- Vargas, C., Posada, J., Jaramillo, L., & García, L. (2015). *Consumos de energía en la industria del plástico: revisión de estudios realizados*. Obtenido de Revista CEA 1(1), 93-107: <https://doi.org/10.22430/24223182.70>
- Veera, A., Arjunan, T., Seenivasan, D., Venkatramanan, R., & Vijayan, S. (2021). Thermal Performance of an evacuated tube solar collector with inserted baffles for air heating applications. En *Solar Energy* (págs. 131-143).
- Zarza, E. (2018). Chapter 7 - Concentrating solar thermal power. En T. Letcher, & V. Fthenakis, *A comprehensive Guide to Solar Energy Systems* (págs. 127-148). Academic Press.

Apéndices

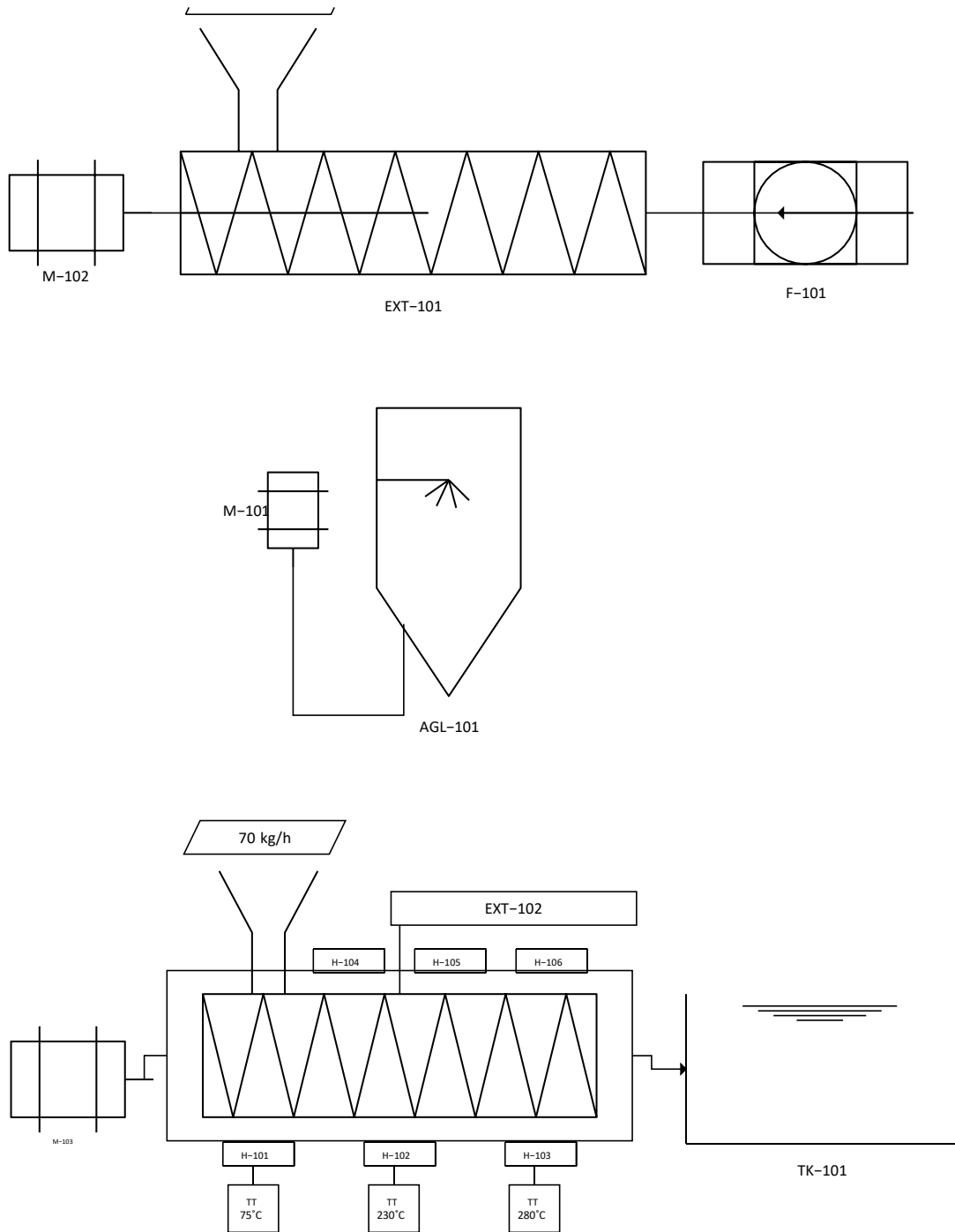
Apéndice A

Descripción del proceso de fabricación de manguera de riego a partir de LDPE




Apéndice B

Diagrama de flujo proceso de fabricación de manguera de riego a partir de LDPE



Apéndice C

Tarifario electrificadora de Santander ESSA

ELECTRIFICADORA DE SANTANDER S.A. ESP.									
INFORMA A SUS USUARIOS DEL SISTEMA DE ENERGIA ELECTRICA DEL DEPARTAMENTO DE SANTANDER, NORTE DE SANTANDER, SUR DEL CESAR, BOLIVAR Y BOYACA, Y LAS TARIFAS DEL MERCADO REGULADO DE JUNIO DE 2024									
Teniendo en cuenta las resoluciones 119/07, 180/14, 191/14 y 015/16, 015/18, 019/18, 158/19, 103/19, 129/19, 036/19, 199/19, 104/20, 174/21, 101 002/22, 501 023/22, 101 028/23 expedidas por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, que permiten establecer los costos de la prestación del servicio a usuarios regulados.									
TARIFAS RESIDENCIALES									
ESTRATO		1		2		3		4	
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	% SUBSIDIO	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh
ESSA	I	-59.2049%	394.40	-49.0061%	493.00	-15.00%	821.76	966.78	966.78
CLIENTE		-59.3688%	359.36	-49.2122%	449.20	-15.00%	751.80	884.47	884.47
COMPARTIDA		-59.1248%	378.35	-48.9060%	472.94	-15.00%	786.78	925.62	925.62
ESSA sin COT		-57.5436%	394.40	-46.9295%	493.00	-15.00%	789.61	928.95	928.95
CLIENTE sin COT	I	-57.5543%	359.36	-46.9429%	449.20	-15.00%	719.64	846.64	846.64
COMPARTIDA sin COT		-57.3831%	378.35	-46.7269%	472.94	-15.00%	754.63	887.79	887.79
Nota: El subsidio es aplicado hasta el consumo de subsistencia.									
TARIFAS RESIDENCIALES					TARIFAS NO RESIDENCIALES				
ESTRATO		5 y 6			COMERCIAL / INDUSTRIAL		ACUEDUCTOS. ESP		OFICIAL
PROPIEDAD ACTIVOS	NIVEL MEDIDA	% CONTRIB.	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 20%	TARIFA \$/kWh	CONTRIB. 10%	TARIFA \$/kWh	TARIFA \$/kWh	
ESSA	I	20.00%	1160.14	193.36	1160.14	96.88	1053.46	966.78	
CLIENTE		20.00%	1061.36	176.89	1061.36	88.45	972.91	884.47	
COMPARTIDA		20.00%	1110.75	185.12	1110.75	92.56	1018.19	925.62	
		II			159.57	957.40	79.78	877.62	797.83
	III			138.83	832.97	69.41	763.55	694.14	
	IV			122.12	732.70	61.06	671.64	610.59	
ESSA sin COT	I	20.00%	1114.74	185.79	1114.74	92.90	1021.85	928.95	
CLIENTE sin COT	I	20.00%	1015.96	169.33	1015.96	84.66	931.30	846.64	
COMPARTIDA sin COT	I	20.00%	1055.35	177.56	1055.35	88.78	976.57	887.79	
	II sin COT			154.65	927.88	77.32	850.56	773.24	
	III sin COT			133.73	802.41	66.87	735.54	668.67	
	IV sin COT			122.12	732.70	61.06	671.64	610.59	
COMPONENTES DEL COSTO UNITARIO VARIABLE Y FIJO DE PRESTACIÓN DEL SERVICIO (CU) según Res. CREG 119/2007									
Conforme con las resoluciones CREG 180/14, 015/16 y 019/18 el valor (Ctm.) que aplica para el mes de junio de 2024 es 9445.09 \$/factura									
NIVEL MEDIDA	G	T	D	Cv	PR	R	CUV Calculado	COT	CUF Aplicado
	Compra Energía	Costo STN	Costo Distribución	Costo de Comercialización	Costo de Compra, transporte y reducción de pérdidas	Costo de Restricciones	Costo Unitario Variable de Prestación del Servicio	Costo Recuperación Opción Tarifaria CREG 101 028/23	Costo Unitario Fijo de Prestación del Servicio
	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh	\$/kWh
I ESSA	398.55	52.84	282.14	122.64	84.66	25.96	966.78	37.83	0.00
I CLIENTE	398.55	52.84	199.82	122.64	84.66	25.96	884.47	37.83	0.00
II	398.55	52.84	180.20	109.40	30.88	25.96	797.83	24.60	0.00
III	398.55	52.84	83.10	110.27	23.41	25.96	694.14	25.46	0.00
IV	398.55	52.84	33.85	84.81	14.58	25.96	610.59	0.00	0.00
I 50%	398.55	52.84	240.98	122.64	84.66	25.96	925.62	37.83	0.00
I ESSA sin COT	398.55	52.84	282.14	84.81	84.66	25.96	928.95	0.00	0.00
I CLIENTE sin COT	398.55	52.84	199.82	84.81	84.66	25.96	846.64	0.00	0.00
II sin COT	398.55	52.84	180.20	84.81	30.88	25.96	773.24	0.00	0.00
III sin COT	398.55	52.84	83.10	84.81	23.41	25.96	668.67	0.00	0.00
IV sin COT	398.55	52.84	33.85	84.81	14.58	25.96	610.59	0.00	0.00
I 50% sin COT	398.55	52.84	240.98	84.81	84.66	25.96	887.79	0.00	0.00
CONSUMO DE SUBSISTENCIA			Alturas inferior a 1000 Mts		Alturas superior a = a 1000 Mts				
Resolución UPME 0355 de 8 de Julio de 2004.			173 kWh		130 kWh				

Nota. Adaptado de (ESSA, 2024)

Apéndice D

Ficha Técnica Power Through 250

Diagramas de funcionamiento

CALENTAMIENTO DE PROCESOS

PRE CALENTAMIENTO DE CALDERA

GENERACIÓN DIRECTA DE VAPOR

250

Inventive Power

Breaking new ground in Energy

ISO 9001:2015

Power Trough 250®

Una nueva solución en energía solar para generación de energía térmica en industrias y comercios.

El Power Trough 250® es un Concentrador Solar Parabólico Lineal útil en aplicaciones industriales y comerciales para generación de energía térmica entre los 90-260°C.

Nuestra tecnología de concentración solar es superior a lo disponible actualmente en el mercado para calentamiento de agua, generación de vapor o aportación de calor al tener mayores eficiencias comparada con otro tipo de colectores solares. La tecnología de Power Trough 250® tiene una mayor modularidad, aprovechando de mejor manera el área disponible de instalación y generando más energía térmica por unidad de área. Para garantizar el funcionamiento de los sistemas durante 20 años de vida útil del producto. Los sistemas cuentan con monitoreo remoto.

SUSTITUYE EL CONSUMO DE COMBUSTIBLES QUE QUEMAN LAS CALDERAS PARA GENERAR ENERGÍA TÉRMICA AL UTILIZAR LA ENERGÍA ABUNDANTE DEL SOL.

250

Power Trough 250®

Una nueva solución en energía solar para generación de energía térmica en industrias y comercios.

El Power Trough 250® es un Concentrador Solar Parabólico Lineal útil en aplicaciones industriales y comerciales para generación de energía térmica entre los 90-260°C.

Nuestra tecnología de concentración solar es superior a lo disponible actualmente en el mercado para calentamiento de agua, generación de vapor o aportación de calor al tener mayores eficiencias comparada con otro tipo de colectores solares. La tecnología de Power Trough 250® tiene una mayor modularidad, aprovechando de mejor manera el área disponible de instalación y generando más energía térmica por unidad de área. Para garantizar el funcionamiento de los sistemas durante 20 años de vida útil del producto. Los sistemas cuentan con monitoreo remoto.

Parámetros	Valor/Tipo
Apertura del colector	2.5m
Longitud del colector	4.16m
Área efectiva de colección solar	10m²
Diámetro exterior del tubo receptor	40mm
Superficie reflectante	Aluminio anodizado
Material del tubo receptor	316L
Emisividad receptor	10% a 200°C
Material de cubierta de cristal	Borossilicato
Rango de temperaturas de aplicación	90-260°C
Potencia térmica entregada	5,900 Wt (5.6 BTU/s)
Reflexancia total superficie reflectante	90%
Tiempo de vida útil del producto	> 20 años

Eficiencia Power Trough 250® (teórica)

Dimensiones generales

Inventive Power

Breaking new ground in Energy

Vialón Colón de Perote #5189-A
 Cal. R. Col. Llanero, C.P. 43200
 Zapotlán Jalisco, México.
 Tel. +52 (33) 1371-3125
 contacto@inventivepower.com.mx
 www.inventivepower.com.mx

Procesos ideales para instalar Power Trough 250®	Beneficios
<ul style="list-style-type: none"> - Generación de vapor - Ebullición - Calentamiento de aire - Destilación - teñido - Escaldado - Pasteurización - Esterilización - Cocción - Aporte térmico en diversos procesos 	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción hasta en un 80% de consumo de combustible para generación de calor de proceso. - Reducción y estabilidad en costos energéticos. - Disminución de emisiones de CO2 a la atmósfera. - Adquisición del sistema sin inversión inicial mediante esquemas de arrendamiento.

Textil

Químicos y farmacia

Alimentos

Refrescos

Tratamiento de aguas

Industrias beneficiadas

Nota. Adaptado de (Inventive Power, s.f.)