

MEJORA EN LA MAQUINA “MÁQUINA INYECTORA, EXTRUSORA DE PLÁSTICO
PARA LA ELABORACIÓN DE ÚTILES ESCOLARES”



KAREN SOFIA MORALES YATE
CARLOS EDUARDO MANCERA PEREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2025

MEJORA EN LA MAQUINA “MÁQUINA INYECTORA, EXTRUSORA DE PLÁSTICO
PARA LA ELABORACIÓN DE ÚTILES ESCOLARES”

KAREN SOFIA MORALES YATE
CARLOS EDUARDO MANCERA PEREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Industrial

Orden: Investigación
Modalidad: Investigación aplicada

Asesor
Mg. JHON ADEMIR PALOMINO PARRA
Magíster en Teleinformática
Magíster en Sistemas integrados de Gestión HSEQ

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD INGENIERIA INDUSTRIAL
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARAGON RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTÉS GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCIA PEÑERANDA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Víctor Andrés RINCÓN GONZALES

Decano de Facultad de Ingeniería Industrial

Dedicatoria

Dedicamos este proyecto a nuestras familias que estuvo en cada etapa de la formación personal y académica.

Agradecemos el apoyo incondicional, la paciencia y la comprensión en todo momento, permitiéndonos así obtener las bases sobre las cuales se construye este logro académico.

Este logro es el esfuerzo conjunto de la familia y el amor que nos han brindado durante la etapa de formación.

Agradecimientos

A los docentes de la facultad de ingeniería Industrial que nos acompañaron en nuestra etapa de formación, les agradecemos su dedicación, tiempo y experiencias compartidas.

Agradecemos la labor, la dedicación y el compromiso que tuvieron durante nuestro proceso de formación. Cada experiencia laboral y/o personal compartido como consejo fue esencial para para el crecimiento académico y humano.

A todos los docentes muchas gracias por su dedicación, por el apoyo brindado en momentos difícil durante este proceso académico.

Contenido

| | |
|---|----|
| Resumen..... | 9 |
| Abstract | 10 |
| Glosario..... | 11 |
| Línea de investigación | 13 |
| Planteamiento del problema..... | 14 |
| Hipótesis o pregunta de investigación | 16 |
| Alcance o delimitación..... | 17 |
| Justificación | 18 |
| Objetivos | 19 |
| Objetivo General | 19 |
| Objetivos específicos | 19 |
| Marco Referencial..... | 20 |
| Marco Metodológico..... | 22 |
| Tipo de Investigación..... | 22 |
| Población..... | 22 |
| Muestra..... | 23 |
| Técnicas | 23 |
| Diseño y prototipo..... | 24 |
| Resultados | 29 |
| Discusiones | 31 |
| Conclusiones | 32 |
| Recomendaciones..... | 33 |
| Referencias bibliográficas..... | 34 |

Lista de Tablas

Tabla 1. Curva solar..... 29

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Panel solar Monocristalino..... | 26 |
| Figura 2. Esquema interno de regulador MPPT..... | 26 |
| Figura 3. Energía requerida para funcionamiento de la máquina, curva solar..... | 29 |

Resumen

El presente proyecto tiene como finalidad optimizar el consumo energético de una maquina inyectora extrusora de plástico para la elaboración de útiles escolares, mediante un sistema de energía solar fotovoltaica, la investigación surge ante la problemática del elevado gasto que tienen este tipo de máquinas, responsable de hasta un 60% de los costos operativos en la industria, lo cual disminuye la rentabilidad y agrava los impactos ambientales por su dependencia de combustibles fósiles.

La metodología empleada fue cuantitativa y experimental, desarrollada en la institución educativa teniente Cruz Paredes de Cumaral, Meta. Se diseño e instalo un prototipo que integra un panel solar monocristalino de 80W, una batería LiFePO₄ de 12 V-20 A, un controlador MPPT y un inversor de onda pura con el fin de registrar y comparar los consumos antes y después de su instalación.

Los resultados reflejaron una disminución del 80% en el consumo de energía eléctrica, una mejora en la estabilidad del proceso de inyección y extrusión, una reducción de más de una tonelada de emisiones de CO₂ al año, la energía solar fotovoltaica demuestra ser una alternativa técnica y económicamente viable, además de representar una herramienta educativa para fomentar la conciencia ambiental y la transición hacia practicas sostenibles.

Palabras Clave: energía solar, eficiencia energética, sostenibilidad, máquina extrusora, energías renovables, energía fotovoltaica, optimización industrial

Abstract

The purpose of this project is to optimize the energy consumption of a plastic injection–extrusion machine used to produce school supplies through the implementation of a photovoltaic solar energy system. The research arises from the problem of the high energy demand of this type of machinery, which accounts for up to 60% of operating costs in the industry, reducing profitability and increasing environmental impacts due to its dependence on fossil fuels.

The methodology applied was quantitative and experimental, carried out at the Teniente Cruz Paredes Educational Institution in Cumaral, Meta. A prototype was designed and installed, integrating an 80W monocrystalline solar panel, a 12V–20A LiFePO₄ battery, an MPPT controller, and a pure sine wave inverter in order to measure and compare energy consumption before and after the installation.

The results showed an 80% reduction in electrical energy consumption, improved stability in the injection and extrusion processes, and a decrease of more than one ton of CO₂ emissions per year. Photovoltaic solar energy proved to be a technically and economically viable alternative, as well as an educational tool to promote environmental awareness and the transition toward sustainable practices.

Key Word- solar energy, energy efficiency, sustainability, extrusion machine, renewable energy, photovoltaic energy, industrial optimization.

Glosario

Amperio (A): Unidad de medida de la corriente eléctrica que indica la cantidad de carga que pasa por un punto de un circuito en un segundo. (*FAQ, 2025*)

Autonomía energética: Capacidad de un sistema o instalación para generar y utilizar su propia energía sin depender de fuentes externas, como la red eléctrica pública. (Ivette, 2020)

Batería LiFePO₄: Tipo de batería de ion de litio con fosfato de hierro (LiFePO₄) como material catódico. Se caracteriza por su alta seguridad, larga vida útil y estabilidad térmica. (*Kuantica HST Sistemas BESS para smartgrids, 2021*)

Corriente alterna (CA): Tipo de corriente eléctrica en la que la dirección del flujo de electrones cambia periódicamente. Es la forma de energía eléctrica más común en los hogares y redes eléctricas. (*Electronics textbook, 2020*)

Corriente continua (CC): Tipo de corriente eléctrica en la que los electrones fluyen siempre en la misma dirección. Es la corriente generada por baterías, paneles solares y pilas. (*Corriente continua - Concepto y diferencia con la alterna, 2018*)

Energía fotovoltaica: Energía eléctrica obtenida directamente de la radiación solar mediante el uso de paneles fotovoltaicos. (*APPA Renovables, 2022*)

Inversor de onda pura: Dispositivo que convierte la corriente continua (CC) en corriente alterna (CA) con una forma de onda senoidal idéntica a la de la red eléctrica, permitiendo alimentar equipos electrónicos sensibles (*¿Qué son las ondas en un inversor? - Atersa Shop, 2025*).

Ley de Ohm: Principio fundamental de la electricidad que establece la relación entre el voltaje (V), la corriente (I) y la resistencia (R) en un circuito: $V = I \times R$ (*La ley de Ohm, lo que es, y cómo calcular la ley de Ohm., 2016*).

Panel solar monocristalino: Panel fotovoltaico fabricado con celdas de silicio monocristalino. Ofrece alta eficiencia y mejor rendimiento en espacios reducidos o con baja radiación solar (AdminNeroS, 2022).

Potencia (Watt): Unidad de medida de la energía eléctrica consumida o generada por unidad de tiempo. Indica la velocidad a la que se realiza un trabajo o se transforma la energía (BBVA, 2025).

Radiación solar: Energía emitida por el sol en forma de luz y calor que puede aprovecharse para generar electricidad o calor mediante sistemas solares (*Cordulus, 2024*).

Regulador o controlador MPPT: Dispositivo que optimiza la carga de las baterías en un sistema solar, ajustando el voltaje y la corriente para aprovechar al máximo la potencia del panel (“Qué es un regulador MPPT”, 2020).

Voltaje (V): Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos de un circuito. Es la fuerza que impulsa el flujo de corriente eléctrica (*Lucera, 2024*).

Watts Pico (Wp): Medida de la potencia máxima que puede generar un panel solar bajo condiciones estándar de prueba (Plus, 2021).

Línea de investigación

El trabajo está vinculado al grupo de investigación Nakota con la línea de investigación “Enfoque de desarrollo de procesos sostenibles en las organizaciones”, y la sub-línea de investigación Industria 4.0 para la transformación económica y social.

Planteamiento del problema

La industria de fabricación de plásticos enfrenta un desafío crítico debido al alto consumo energético de las máquinas inyectoras, que representan hasta el 60% de los costos operativos en plantas de fabricación (Novas et al., 2021). Este elevado consumo se debe principalmente a la necesidad de energía para procesos como el calentamiento de moldes, la inyección de material y el enfriamiento, lo que genera costos operativos elevados y reduce la rentabilidad de las empresas. Estudios en Colombia confirman que hasta el 30% de este consumo es evitable mediante la actualización tecnológica y capacitación operativa (Rubio Guerrero et al., 2022), lo que revela un margen significativo de mejora desaprovechado.

Además, la dependencia de combustibles fósiles para generar electricidad no solo aumenta estos costos, sino que también contribuye a las emisiones de CO₂, exacerbando el impacto ambiental y afectando la imagen corporativa de las empresas en un mercado cada vez más enfocado en la sostenibilidad (Aprendizaje automático para un futuro energético sostenible | Materiales de Nature Reviews, 2022). En ciudades como Villavicencio, esta industria ya es responsable del 12% de las emisiones locales, según datos del Pacto de alcaldes (VILLAVICENCIO-PAC_GCoM.pdf, 2024), lo que ha motivado políticas punitivas como impuestos al carbono.

Otro factor clave es la falta de optimización energética en muchas máquinas inyectoras, que no están diseñadas para maximizar la eficiencia, lo que resulta en un desperdicio de energía y mayores gastos (Dellosa & Palconit, 2021). Esta ineficiencia se agrava por la baja tasa de reciclaje de plásticos en el país (solo 8%, según la revista agustina (Briceño et al., 2022)), que incrementa la demanda de material virgen y su huella energética asociada.

A esto se suma la inestabilidad financiera causada por la dependencia de combustibles fósiles, que expone a las empresas a fluctuaciones en los precios de la energía, afectando su estabilidad económica (Mustafa Kamal et al., 2022). Finalmente, la falta de adopción de energías renovables, como la solar, limita el potencial de las empresas para reducir costos y mejorar su competitividad, perdiendo oportunidades clave en un mercado global que valora cada vez más las prácticas sostenibles (Onu et al., 2023). Casos como plantas en Antioquia demuestran que la integración de paneles solares puede amortizarse en 3 años, con ahorros del 25% en energía (Rubio Guerrero et al., 2022).

Este problema es observable y medible, ya que los costos energéticos y las emisiones de CO₂ pueden cuantificarse mediante análisis técnicos y económicos. Además, es factible abordarlo mediante pruebas empíricas, como la implementación de sistemas solares en máquinas inyectoras, y la recolección de datos sobre ahorros energéticos y reducción de emisiones. La revisión documental de estudios previos, como los de OA UPM (2021) y ScienceDirect (2021), proporciona un marco teórico sólido para este análisis.

Hipótesis o pregunta de investigación

¿Qué beneficios puede generar la adaptación de un sistema de energía renovable en la maquina inyectora extrusora de plástico para la elaboración de útiles escolares?

Implementar energía solar u otras fuentes renovables en la maquina inyectora y extrusora de plástico para la elaboración de útiles escolares, es posible reducir el consumo energético y los costos operativos, mejorando la rentabilidad del proceso productivo, además el uso de energías limpias contribuirá a la disminución de las emisiones de CO₂, favoreciendo la sostenibilidad ambiental y fortaleciendo la competitividad de la empresa en un mercado el cual se valora las practicas amigables con el medio ambiente.

Alcance o delimitación

El alcance de este proyecto se centra en la implementación de energía solar en una maquina inyectora y extrusora de plástico para la fabricación de útiles escolares en Cumaral, Meta se analizará el consumo energético actual de la maquina y se evaluará alternativas de energía renovable que nos permita reducir la demanda eléctrica de la máquina, con un especial énfasis en sistemas fotovoltaicos adaptados a las condiciones climáticas de la región

Se identificarán los principales factores que influyen en el consumo energético de la máquina, incluyendo la eficiencia en los procesos de inyección y extrusión del plástico, se estudiara las diferentes opciones de energía renovable, con principal énfasis en la energía solar, considerando la viabilidad en función de la demanda energética de la maquina y los costos de instalación.

Este proyecto no abordara otros procesos industriales ajenos a la inyección y extrusión de plástico ni la comercialización de los productos fabricados, solo se realizarán evaluaciones sobre el sistema dentro de un plazo estipulado, incluyendo el desarrollo del prototipo final que validara técnicamente la solución propuesta, el prototipo servirá como una demostración de la viabilidad del uso de la energía solar en la máquina.

Justificación

Las industrias de fabricación de plásticos enfrentan un desafío significativo debido al alto consumo energético de las maquinas inyectoras, ya que estas presentan hasta el 60% de los costos operativos en las plantas de producción, esto se debe al consumo elevado de energía requerida para los procesos, los cuales son: calentamiento de moldes, inyección del material y el enfriamiento de las piezas, las empresas enfrentan altos costos de producción que afectan su rentabilidad y sostenibilidad financiera.

Asimismo, el impacto económico y el consumo energético en estas industrias están estrechamente ligado a la dependencia de combustibles fósiles, esto no solo eleva los gastos debido a las fluctuaciones en los precios de la energía, sino que también tiene un impacto considerable debido a las emisiones de CO₂ que emiten, además la falta de estrategias para optimizar el consumo energético puede afectar significativamente y limitar la competitividad de las empresas o industrias en el mercado.

La optimización energética y el uso de fuentes renovables, como la energía solar, representan una oportunidad clave para mitigar estos problemas, la implementación de nuevas tecnologías más eficientes y sistemas de generación de energía renovable.

Este proyecto se enfoca en optimizar el funcionamiento de la maquina inyectora y extrusora para la elaboración de útiles escolares mediante la implementación de energías renovables, evaluando la rentabilidad del proceso, a través de un análisis comparativo del consumo antes y después de la implementación, esto nos proporcionaran datos que nos faciliten la toma de decisiones.

Este proyecto puede aportar soluciones que no solo reduzcan los costos de energía de las empresas, sino que también incrementen su competitividad en el mercado global, en un entorno donde las normativas ambientales y la responsabilidad social empresarial juegan un papel cada vez más importante en la toma de decisiones comerciales, aquellas empresas que adopten medidas para optimizar su consumo energético y reducir la huella de carbono tendrán ventaja frente a empresas que no lo hagan.

Además, este proyecto tiene un impacto positivo no solo en la industria de plásticos, sino que también en diferentes sectores manufactureros que utilizan procesos de inyección, implementar nuevos conocimientos sobre estrategias efectivas de optimización energética e integrar fuentes renovables puede servir como referencia para el desarrollo de políticas industriales más sostenibles y eficientes.

Objetivos

Objetivo General

Optimizar el consumo energético de la maquina inyectora extrusora de plástico mediante el uso de energía solar para la elaboración de útiles escolares.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis del funcionamiento de la maquina inyectora extrusora de plástico para la elaboración de útiles escolares.
- Implementar un prototipo del sistema de energía solar en la maquina inyectora extrusora de plástico.
- Evaluar el sistema de energía renovable implementado en la maquina inyectora extrusora de plástico, analizando la eficiencia energética, el impacto ambiental y la viabilidad económica.

Marco Referencial

La implementación de energías renovables en la industria plástica, particularmente sistemas fotovoltaicos para máquinas inyectoras y extrusoras, ha demostrado ser técnicamente viable y económicamente beneficiosa según investigaciones recientes. (“(PDF) Solar Panel Waste Management”, 2025) en su estudio " Solar Panel Waste Management: Challenges, Opportunities, and the Path to a Circular Economy". Binus University Journal evidencian como la energía solar puede integrarse eficientemente en procesos industriales, mientras en "Overall Equipment Effectiveness to Increase Productivity of Injection Molding Machine: A Case Study in Plastic Manufacturing Industry" (Sunadi et al., 2021) identifican que el 60% del consumo energético se concentra en el calentamiento de moldes e inyección, con potencial de ahorro del 25-30% mediante optimización. (Su et al., 2025) en Renewable and Sustainable Energy Reviews destacan que las energías limpias no solo reducen costos, sino que mejoran la competitividad en mercados con regulaciones ambientales estrictas, complementado por (Toribio-Ramirez et al., 2025) en Sustainable Energy Technologies and Assessments quienes demuestran que sistemas solares con almacenamiento pueden aumentar la autonomía energética hasta en 40%. En Colombia, (Guerra Sánchez et al., 2021) en "Implementación de energías renovables como garantía al derecho fundamental a un ambiente sano en Colombia" analizan el impacto positivo de políticas como la Ley 1715 (Ley 1715 de 2014), mientras en Science of The Total Environment enfatizan la necesidad de reducir la huella de carbono en producción plástica. Casos prácticos como el de (“Feasibility Study to Supply the Plastic Industry with Photovoltaic Solar Energy | Request PDF”, 2022) en Feasibility Study to Supply the Plastic Industry with Photovoltaic Solar Energy muestran amortizaciones en 3 años con ahorros del 25%, confirmando la viabilidad de estas soluciones pese a desafíos como costos iniciales y requerimientos de espacio. Este marco integra evidencia técnica, normativa y casos de éxito que sustentan la transición energética en la fabricación de plásticos como estrategia para mejorar eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad.

Complementando el marco conceptual se encontró que en diversas investigaciones han abordado soluciones desde la economía circular para reducir la dependencia de materias primas vírgenes y minimizar el impacto ambiental de los residuos plásticos. (Díaz et al., 2022) desarrollaron un prototipo de máquina capaz de transformar botellas de PET recicladas en filamento para impresión 3D, integrando sensores, actuadores y algoritmos de control PID, como

una estrategia pedagógica y tecnológica que promueve el aprovechamiento de residuos plásticos y la conciencia ambiental entre jóvenes. Esta iniciativa del SENA se alinea con los hallazgos de (content.pdf, 2021), quien evaluó mezclas de PET con PETG para mejorar la estabilidad térmica y mecánica del filamento reciclado, evidenciando el potencial del reciclaje descentralizado como mecanismo de reducción logística y valorización de residuos. En un enfoque más normativo, (Gil, 2023) analiza cómo la legislación colombiana puede facilitar o restringir la implementación de modelos circulares en la gestión de plásticos de un solo uso, destacando la necesidad de marcos regulatorios adaptativos. Por último, desde una perspectiva científica un poco más avanzada, (Häußler et al., 2021) proponen un modelo de reciclaje químico en bucle cerrado para materiales similares al polietileno, alcanzando tasas de recuperación superiores al 96%, lo que representa un avance crucial en el desarrollo de materiales sostenibles compatibles con procesos industriales como la manufactura aditiva

Marco Metodológico

Este proyecto va enfocado a un estudio cuantitativo de tipo experimental y aplicado, ya que nos enfocamos en medir, a través de datos numéricos el impacto de implantar un sistema de energía solar en una maquina inyectora extrusora de plástico para la elaboración de útiles escolares, al ser un estudio cuantitativo nos permite establecer relaciones y evaluar objetivamente las variaciones en el consumo energético antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico, lo cual es fundamental para determinar la viabilidad del sistema.

La investigación de este proyecto es experimental de campo, con aplicación en la institución educativa teniente Cruz Paredes de Cumaral Meta, se desarrollará un prototipo funcional que integre un sistema de energía solar en la maquina inyectora extrusora para la elaboración de plástico, se realizará una comparación entre el consumo energético antes y después de implementar el sistema renovable.

La población de este proyecto está compuesta por las maquinas inyectoras extrusoras de plástico, especialmente en aquellas que son para la producción de útiles escolares, sin embargo, este proyecto está enfocado en una maquina ubicada en la Institución Educativa teniente Cruz Paredes de Cumaral Meta.

Para obtener la información necesaria, se observará directamente el funcionamiento de la maquina y se tomarán medidas del consumo de energía de esta antes y después de implementar el sistema de energía solar, se recopilarán los datos mediante herramientas como medidores de energía, hojas de registro de la producción de útiles escolares antes y después de implementar el sistema solar renovable, esto con el fin de tener una precisión más clara de los datos sobre el consumo de la máquina.

Tipo de Investigación

Se tiene un tipo de investigación mixta, debido a que se realiza un diseño y también se tendrán prácticas de este mismo.

Población

Municipios aledaños a la ciudad de Villavicencio, enfocado principalmente en la institución educativa teniente Cruz Paredes de Cumaral Meta.

Muestra

Estudiantes de la institución educativa teniente Cruz Paredes

Técnicas

Se tendrán técnicas de diseño explicativo secuencial, donde se recopilarán los datos de consumo energético y se comparara con la potencia máxima que se tenga en la máquina.

Diseño y prototipo

Desde que se plantea realizar la mejora a la máquina, se tenía claro que el objetivo final buscaba hacer que toda la maquina inyectora extractora de plástico tuviera un funcionamiento único con energía solar, sin embargo, en la búsqueda de las mejores opciones para la implementación de esta mejora se plantea otra pregunta y es ¿la curva solar en temporada de lluvias va a ser suficiente para mantener su funcionamiento optimo?

Esta pregunta nos lleva a buscar soluciones más allá de una simple implementación de paneles, en esta búsqueda de soluciones encontramos una que se adaptaba a la solución que buscábamos que se basa esencialmente en recurrir a baterías externas que también se alimentaran de los excedentes que se puedan llegar a dar de energía solar, permitiendo que el funcionamiento de la maquina sea optimo en los días donde la curva solar no llegue a ser suficiente para el correcto funcionamiento.

Una vez tenido claro cuál sería la mejor opción para el modo de operación que tendría la maquina se realiza una inspección previa del estado de la máquina, revisando las piezas, el funcionamiento y capacidad de producción.

Una vez verificado el estado de la maquina y las piezas se lleva a cabo una investigación donde se determina con que voltaje y amperaje funciona la maquina normalmente y así mismo poder implementar la mejora.

En este caso para poder implementar en la maquina inyectora extrusora de plástico un sistema de energía renovable se identificó que el motor trabaja con unas características de 12 V y 5 A, lo que representa un consumo aproximado de 60W durante su funcionamiento normal, en cuanto a las condiciones del sitio, Cumaral cuenta con un promedio de 4,4 horas sol pico (HSP)(*El clima en Cumaral, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark, 2025*) al día con una temperatura promedio de 26 °C(*El clima en Cumaral, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia) - Weather Spark, 2025*) lo que permite un rendimiento estable del sistema, en cuanto al almacenamiento se utilizaría una batería de 12V y 7A lo que proporcionaría 84Wh de energía para el funcionamiento.

Para garantizar que el sistema solar propuesto pueda alimentar correctamente la maquina inyectora extrusora de plástico se realizó un dimensionamiento del sistema energético, con esto

nos permite determinar el consumo diario, la potencia necesaria del panel solar y la capacidad de la batería, a partir de las mediciones realizadas se identificó que el sistema cuenta con una fuente de 60 watts y un motor de 12v y 0,52Amp, cuya potencia se calcula mediante la ley de Ohm relacionando la corriente (I), el voltaje (V) y la resistencia (R) del circuito

Consumo dispositivo electrónico

Fuente: 60 Watts

Motor: 0,52 Amperios

Motor: $P=(V)(I)$

Ley de Ohm

Ohm: $V= (I)(R)$

$P=(I)(I)(R)$

$P=(I)^2(R)$

$P=(0,52)^2(9\Omega) = 2,433$

Motor + fuente= $60 + 2,433 = 62,43$

X = Diseño max 60% (Máximo para no dañar el circuito eléctrico ya diseñado)

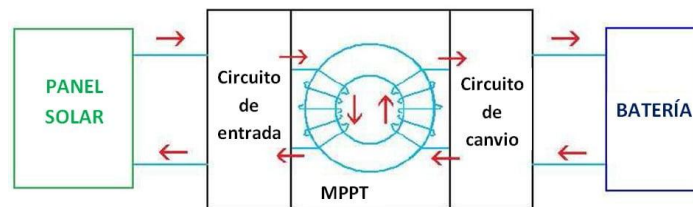
X= 37.46 watts

Teniendo en cuenta los datos proporcionados anteriormente buscamos entre los diferentes tipos de paneles, baterías, inversores y demás elementos necesarios para realizar la mejora y se realizó la selección de los materiales, como:

Un panel monocristalino de 60 a 80 Wp, que nos permite tener una tasa de conversión de energía superior al 20 % (*Tipos de paneles solares fotovoltaicos y sus características,2024*), lo que se traduce como un mejor aprovechamiento de la curva solar para generar energía, también este tipo de paneles tienen una mejor funcionalidad en momentos de escasez de luz solar en comparación con otros paneles.

Figura 1. Panel solar Monocristalino.

Un controlador MPPT de 10A, este tipo de regulador o controlador solar convierte la energía de corriente continua (que es la que ingresa del panel solar) a corriente alterna (*¿Qué Es Un Regulador Solar MPPT Y Cómo Funciona?*, 2025), el controlador también es el encargado de mantener los niveles de corriente alterna esenciales para el funcionamiento de la máquina.

Figura 2. Esquema interno de regulador MPPT

Nota. By Generatuluz 2025

Una batería de LiFePO de 12V/20Ah, esta batería nos permite suplir la potencia requerida en días donde la curva solar no sea suficiente, también nos permite tener una autonomía total de 24h, lo cual nos beneficia para los días donde la luz solar es muy escasa o si se requiere tener más horas de funcionamiento la máquina.

Ya como último se necesitaría un inversor que pueda manejar una onda pura de 150 a 300W, este inversor no solo nos ayudaría a tener un mejor manejo de la corriente continua a corriente alterna, sino que también nos permitirá vender los excedentes de la energía a la Electrificadora del Meta emsa-esp.

Una vez la selección de los materiales necesarios también es necesario entender las normativas que rigen al mundo energético que se requiere tener cuando se trabaja en un proyecto

de energía solar, estas normativas rigen todo el mercado y proyectos energéticos, las normativas son:

- La resolución 40117 del 2 de abril de 2024 regula todas las instalaciones eléctricas del país y busca prevenir riesgos eléctricos mediante el uso de materiales y procedimientos seguros(*Resolución_40117_de_2024.pdf*,), la norma técnica Colombiana NTC 2050 complementa lo anterior ya que establece criterios de diseño y construcción para instalaciones de baja tensión garantizando la eficiencia y seguridad(*NTC 2050*,) de la máquina del proyecto, por otra parte, la ley 1715 de 2014 respalda el uso de energías renovables no convencionales como la energía solar(*Ley 1715 de 2014 - Gestor Normativo,2014*).

- La resolución CREG 030 de 2019 se establecen condiciones para la generación de energía distribuida(*Alejandro - Resolución 30 de 2019 CREG, 2019*), lo que resulta relevante ya que el sistema fotovoltaico se implementa bajo un esquema de autogeneración, en materia de seguridad laboral, la resolución 5018 de 2019 es clave ya que en ella se dictan los lineamientos de prevención del riesgo eléctrico y las medidas del sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo(*Resolución 5018 de 2019 Ministerio del Trabajo,2019*).

Con estas normativas podemos agregar un componente a este proyecto el cual es la compra de los excedentes de energía; la Electrificadora del Meta (emsa-ESP S.A) está obligada a comprar los excedentes de energía que se lleguen a dar en este proyecto lo que nos permite tener un retorno de la inversión en un menor tiempo y poder lograr la eficiencia completa de la máquina, ya que tendría una eficiencia energética, una eficiencia económica, un reconocimiento social y demás.

Estas compras de excedentes de energía están reguladas por la CREG en la resolución 174 de 2021, que regula la autogeneración a pequeña escala y la generación distribuida, lo que convierte a estos excedentes en un Agente de Generador de Pequeña Escala (AGPE). Esta resolución va ligada a la resolución 030 de 2018 y sus respectivas modificaciones que en un inicio regulo la generación y la venta de los excedentes de energía.

Lo anterior es esencial para entender la normativa que regula a los AGPE, sin embargo, también hay ciertos requisitos que se deben llevar a cabo los cuales son:

Contar con un medidor bidireccional que permita llevar un control de la energía que ingresa y la que sale para así mismo, calcular los excedentes que se tendrían.

Cumplir con las normativas eléctricas y con el REITE para que la instalación solar no afecte el sistema de distribución local (SDL).

Tener claro los límites de potencias, ya que si se supera 1MW (1.000.000 W) deja de considerarse un AGPE y pasaría a ser un Agente Generador de Energía, lo que implicaría tener que regirse a más normas y demás.

Otros requisitos primordiales para poder realizar la venta de los excedentes de energía es tener un registro como AGPE o una formalización de contrato ante emsa-ESP S.A, estar al día con todas las obligaciones que se puedan llegar a tener con emsa.ESP S.A y tener toda la documentación administrativa tal como, certificaciones, la solicitud formal ante emsa-ESP S.A, la ubicación del proyecto, los permisos si son requeridos del predio. Todo esto con el fin de que emsa-ESP S.A pueda tramitar una conexión de proyectos eléctricos.

Una vez se realiza todos estos trámites y se tiene claro la normativa que rige esta transacción, el paso a seguir es establecer con emsa-ESP. S.A los precios fijos o precios de bolsa según se requiera, establecer la cuenta en donde se realizarían los pagos en los tiempos que se establezca con emsa-ESP S.A y realizar todo el tema de emisión de factura para el pago de esta.

Resultados

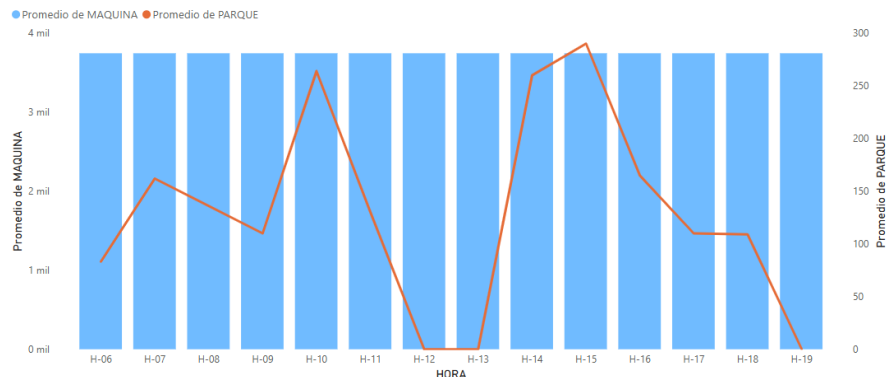
Durante una semana se evalúa la curva solar que hay en Cumaral Meta donde se evidencia que durante la semana del 29 de septiembre al 03 de octubre la curva solar está en una medida de W/h, permitiéndonos tener una perspectiva más clara de que tan eficiente es la mejora en días donde la curva solar es muy baja y en días donde la curva solar sea óptima para la operación de la máquina.

Tabla 1. Curva solar.

| Me s | Frontera solar | Medid a | Di a | H0 6 | H0 7 | H0 8 | H0 9 | H1 0 | H1 1 | H1 2 | H1 3 | H1 4 | H1 5 | H1 6 | H1 7 | H18 | H19 |
|------|----------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 9 | Parque solar | W/h | 29 | 80,5 | 145 | 30,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 607 | 289 | 445 | 301 | 115 | 0,934 | 0,168 |
| 9 | Parque solar | W/h | 30 | 83,2 | 162 | 136 | 110 | 264 | 130 | 0 | 0 | 260 | 290 | 165 | 110 | 109 | 0,37 |
| 10 | Parque solar | W/h | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 143 | 215 | 964 | 162 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | Parque solar | W/h | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 110 | 0 | 154 | 231 | 352 | 354 | 288 | 145 | 0,36 |
| 10 | Parque solar | W/h | 3 | 64,9 | 204 | 172 | 39,6 | 0 | 58 | 303 | 260 | 375 | 267 | 143 | 140 | 18,7 | 0,18 |

Mediante el proyecto se logró una disminución del consumo de energía eléctrica convencional en al menos un 80% gracias a la sustitución parcial del suministro por energía fotovoltaica, esto calculado con base en el rendimiento del panel monocristalino de 80 W y una curva solar promedio de 4,4 horas sol pico en Cumaral, Meta.

Figura 3. Energía requerida para funcionamiento de la máquina, curva solar



En el gráfico podemos evidenciar cómo se comporta la curva solar en un día, y la energía requerida por la máquina durante este mismo periodo de tiempo, la gráfica muestra los picos que se crean a lo largo de las horas solares y aunque a veces estas horas solares no tenga una producción

de energía se compensa con las demás horas solares, donde los picos llegan a ser mayor de lo requerido por la máquina.

También la integración del inversor de onda pura (150-300 W) y el cumplimiento de normas técnicas colombianas (NTC 2050, resolución 40117 de 2024 y ley 1714 de 2014) se asegura un sistema confiable, seguro y con baja tasa de fallos eléctricos, evitando sobrecargas y protegiendo el circuito original de la máquina.

La energía más estable y limpia del sistema solar contribuirá a un funcionamiento más eficiente del motor de 12V-5A y la fuente de alimentación la cual tiene una potencia de 60 watts en donde mediante esta energía se prevé un aumento del 5-10% en la estabilidad del ciclo de extrusión e inyección, reduciendo defectos o desperdicios del material.

El prototipo desarrollado confirma que la aplicación de energía solar en máquinas industriales de baja potencia es técnica y económicamente factible en regiones con condiciones de radiación solar similares a las del departamento del Meta.

Además del beneficio técnico y energético, el proyecto genera un impacto significativo en el ámbito educativo y ambiental, el cual promueve el aprendizaje práctico sobre el uso responsable de los recursos naturales, la eficiencia energética y las tecnologías sostenibles, fomentando una innovación responsable y la sostenibilidad ambiental.

Discusiones

Los resultados obtenidos en la implementación del sistema fotovoltaico aplicado a la máquina inyectora extrusora de plástico evidencian una viabilidad técnica, económica y ambiental de integrar energías renovables en procesos de manufactura de pequeña escala con el sistema diseñado compuesto por un panel solar monocristalino, una batería LifePO₄ de 12V-20Ah y un inversor de onda pura de 150W, permite reducir el consumo de energía eléctrica convencional y mantener una operación continua de la máquina.

Tras implementar medidas de optimización en sistemas fotovoltaicos en procesos de inyección de plásticos demostraron que la incorporación de sistemas de almacenamiento mediante baterías incrementa la autonomía energética en hasta un 80%.

Al utilizar energía solar contribuye a la mitigación de CO₂ estimada en más de una tonelada anual lo que demuestra la efectividad del sistema en el del impacto ecológico, este resultado junto a las normativas y leyes (ley 1715 de 2014 y resolución 40117 de 2024) destacan la relevancia por la adopción de energías renovables para fortalecer la sostenibilidad en Colombia

Conclusiones

En este trabajo se logró evidenciar la viabilidad técnica ya que la implementación de un sistema de energía solar o sistema fotovoltaico en la maquina inyectora extractora de plástico demostró ser a nivel técnico funcional y viable, ya que se logró un suministro estable para su funcionamiento diario bajo las condiciones climáticas de Cumaral Meta.

También se evidencio un ahorro energético significativo, ya que se espera que en días donde la curva solar no sea suficiente, tenga un sistema de respaldo que le permita realizar su funcionamiento de manera continua y eficiente durante 24 horas, demostrando así que la maquina es en al menos un 80% autosuficiente y no dependiente de fuentes de energías convencionales.

Otro punto para destacar es la sostenibilidad ambiental y económica de la máquina, en la sostenibilidad ambiental la disminución del uso de energías de la red de la Electrificadora del Meta y el uso de energía solar permite tener una reducción de al menos una tonelada anual de CO₂, contribuyendo a la transición energética y a la mitigación del cambio climático. Por otra parte, la sostenibilidad económica a largo plazo es muy favorable, ya que se estima que exista una amortización de la inversión inicial en 2 a 5 años, esto gracias a la compra de los excedentes de energía, lo que permite que una vez amortizada la inversión inicial, se tenga unos ingresos constantes de dinero para mejoras de esta o mantenimiento de la máquina.

En un impacto social y educativo, la maquina inyectora estructura de plástico funciona como una herramienta para el aprendizaje de conceptos tales como eficiencia energética, energías renovables, viabilidad económica y demás, sin olvidar que el funcionamiento de la maquina contribuye a la sociedad con la fabricación de los útiles escolares para la población de estudiantes que tiene la Institución educativa teniente Cruz Paredes.

También esta máquina se convierte en una muestra de la aplicación de aprendizaje de procesos llevados a la eficiencia energética en máquinas de bajo consumo.

Para finalizar las conclusiones destacamos que la mejora en la maquina es replicable y adaptable a otros diseños de máquinas de baja potencia o también se puede manejar como talleres educativos demostrando así que la transición a uso de energías limpias es viable sin la necesidad de una inversión inicial significativa.

Recomendaciones

Es fundamental realizar un plan de mantenimiento periódico que contemple la limpieza del panel solar, la batería, el regulador y el inversor, estas acciones permitirá conservar el rendimiento del sistema y prolongar su vida útil.

Con el fin de aumentar la autonomía y cobertura del sistema, evaluar la instalación de paneles adicionales u optar por una batería de mayor almacenamiento esto permitirá abastecer por completo el consumo energético de la maquina y aprovechar los excedentes de energía

Se recomienda instalar sensores de medición y medidores digitales que registren en tiempo real la energía generada, consumida y almacenada. Esta información permitirá analizar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones climáticas y validar la eficiencia del diseño, fortaleciendo la base de datos para futuras investigaciones o ajustes del sistema.

Para el plan de mantenimiento periódico, recomendamos mantener actividades como lo son:

- Inspecciones visuales, revisando cableado y los conectores, también verificar que no exista humedad o residuos orgánicos o inorgánicos en la zona.
- Limpieza superficial de la máquina, retirar el polvo que se almacene en los paneles o máquina, también los restos de plásticos o grasa de la superficie y moldes, todo esto usando paños secos con alcohol isopropílico, evitando el agua.
- Verificación del estado del panel solar, comprobando que no haya basuras ni suciedad en el panel, también con ayuda del controlador verificar que este marcando una energía que entre de los parámetros de normalidad.
- Verificar el estado de la batería, que el voltaje este dentro de los 12V antes de su uso y asegurar de manera segura las conexiones, evitando perdidas de energía y deterioro de la máquina.

Este plan de mantenimiento se recomienda que se realice de manera diaria, antes de poner en funcionamiento la máquina, evitando así posibles daños o afectaciones en la máquina. Este plan de mantenimiento también permite que la vida útil de la maquina sea optima y duradera.

Referencias bibliográficas

- Andrés, T. (tete). (2025, julio 30). Potencia eléctrica: qué es, cómo calcularla y optimizar tu factura. BBVA. <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-y-como-calcular-la-potencia-electrica/>
- APPA Renovables. (2022). ¿Qué es la energía fotovoltaica? <https://www.appa.es/appa-fotovoltaica/que-es-la-energia-fotovoltaica/>
- Atersa Shop. (2025). ¿Qué son las ondas en un inversor? de <https://atersa.shop/que-son-las-ondas-en-un-inversor/>
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). (2014). Ley 1715 de 2014 – Integración de las Energías Renovables No Convencionales al Sistema Energético Nacional. Gov.co. de <https://www.anla.gov.co/eureka/normativa/leyes/ley-1715-de-2014-integracion-de-las-energias-renovables-no-convencionales-al-sistema-energetico-nacional>
- Briceño, J. A. B., Marín, L. J. A., Niño, L. J. D., & Pineda, V. S. (2019). Recuperadores de materiales plásticos de Villavicencio: Un aporte a la sustentabilidad de la ciudad. *Revista académica*, 13, 32-56. <https://revistas.uniagustiniana.edu.co/index.php/agustiniana/article/view/100>
- Coluccio Leskow, E. (2018, agosto 9). Corriente continua. *Enciclopedia Concepto*. <https://concepto.de/corriente-continua/>
- Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). (2019). Resolución 30 de 2019. Por la cual se define adelantar la auditoría de los parámetros declarados para participar en la subasta del Cargo por Confiabilidad para el período 2022-2023. *Diario oficial No.50.934*. https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0030_2019.htm
- Cordulus. (2024). Solar radiation. <https://www.cordulus.com/glossary/solar-radiation>
- Dellosa, J. T., & Palconit, E. C. (2021). Artificial Intelligence (AI) in Renewable Energy Systems: A Condensed Review of its Applications and Techniques. 2021 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2021 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe), 1–6. <https://doi.org/10.1109/EEEIC/ICPSEurope51590.2021.9584587>
- Díaz, M. V. R., Ríos, J. P. V., Portilla, L. M. M., Valentina, J., Velasco, M., Narváez, J. F., Bolaños, Y. V. B., & Toro, J. A. D. (2022). desarrollo de un prototipo de máquina

- fabricadora de filamento para impresión 3d, mediante la reutilización de botellas de plástico pet. *Tecnoacademia Itinerante Nariño . Con-Ciencia y Técnica*, 6(2), 39–43. <https://revistas.sena.edu.co/index.php/conciencia/article/view/5019>
- EETech Group, LLC. (2020). What is Alternating Current (AC)? Basic AC Theory <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/alternating-current/chpt-1/what-is-alternating-current-ac/>
- Eland Cables. (2024). What is an ampere. <https://www.elandcables.com/the-cable-lab/faqs/faq-what-is-an-ampere>
- Energía Solar. (2017, noviembre, 6). Tipos de paneles solares fotovoltaicos y sus características. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos>
- Fluke.(2016, noviembre, 2). La ley de Ohm, lo que es, y cómo calcular la ley de Ohm. <https://www.fluke.com/es-co/informacion/blog/electrica/que-es-la-ley-de-ohm>
- Generatuluz. (2018, abril, 10). ¿Qué Es Un Regulador Solar MPPT Y Cómo Funciona? <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/controladores-carga/que-es-un-regulador-solar-mppt/>
- Global Covenant Of Mayors For Climate & Energy. (2023). Villavicencio, Plan de acción climática. ICLEI. Alcaldía de Villavicencio. https://pactodealcaldes-la.org/wp-content/uploads/2024/03/VILLAVICENCIO-PAC_GCoM.pdf
- Gómez-Ramírez, G. A., & Bolaños-Jiménez, C. A. (2022). Metodología para la implementación de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento para pequeñas industrias. *Revista Tecnología en Marcha*, 36(1), 18–32. <https://doi.org/10.18845/tm.v36i1.5843>
- Guerra Sánchez, M., Assaf Montaña, J. C., Ascanio Mantilla, N. J., Guerra Sánchez, M., Assaf Montaña, J. C., & Ascanio Mantilla, N. J. (2021). Implementación de energías renovables como garantía al derecho fundamental a un ambiente sano en Colombia. *Revista CES Derecho*, 12(2), 87–106. <https://doi.org/10.21615/cesder.6163>
- Häußler, M., Eck, M., Rothauer, D., & Mecking, S. (2021). Closed-loop recycling of polyethylene-like materials. *Nature*, 590(7846), 423–427. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03149-9>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). NTC 2050. Código eléctrico colombiano. (2a ed). Icontec. <https://ntc2050.com/>
- Ivette, A. (2020, septiembre 13). Autonomía energética. *Economipedia*. <https://economipedia.com/definiciones/autonomia-energetica.html>

- Kuantica Hybrid Solar Technologies. (2021, febrero 23). Características de las baterías LiFePO4. <https://www.kuantica-hst.com/caracteristicas-baterias-linadium/>
- Lazo Lobo, J. (2021). Mejoramiento de la procesabilidad del PET reciclado: Evaluación de mezclas poliméricas para mitigar degradación y mejorar estabilidad en la extrusión de filamento de impresión 3D con PET posconsumo Improving the processability of recycled PET: Evaluation of polymer blends to mitigate degradation and improve stability in the extrusion of 3D printing filament with post-consumer PET. [Artículo académico, Universidad EAFIT]. Repositorio Institucional. <https://repository.eafit.edu.co/server/api/core/bitstreams/d3a1bb4b-6cfc-407d-8482-85ec84c0413a/content>
- Lucera. (2024). Voltio (V): Definición <https://lucera.es/glosario-energetico/voltio-v>
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). Resolución 40117 de 2024: Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). https://www.minenergia.gov.co/documents/11563/Resoluci%C3%B3n_40117_de_2024.pdf
- Ministerio del Trabajo. (2019). Resolución 5018 de 2019: Por la cual se establecen lineamientos en seguridad y salud en el trabajo en los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica. <https://camacol.co/sites/default/files/descargables/Resoluci%C3%B3n%205018%20del%2020112019%20SST%20en%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica.pdf>
- Mustafa Kamal, M., Asharaf, I., & Fernandez, E. (2022). Optimal renewable integrated rural energy planning for sustainable energy development. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102581. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102581>
- Nero Solar. (2022, junio 30). ¿Qué son los paneles solares monocristalinos? Nerosolar. <https://nerosolar.com/paneles-solares-para-tu-casa-todo-lo-que-necesitas-saber-3/>
- Novas, N., Garcia, R. M., Camacho, J. M., & Alcayde, A. (2021). Advances in Solar Energy towards Efficient and Sustainable Energy. *Sustainability*, 13(11), Article 11. <https://doi.org/10.3390/su13116295>
- Onsa Plus. (2021). Watt-peak – Wp. <https://www.onsaplus.eu/glossary/watt-peak-wp/>

- Onu, P., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023). The potential of industry 4.0 for renewable energy and materials development – The case of multinational energy companies. *Heliyon*, 9(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20547>
- Pazmiño, I., Moreira, A., Intriago, J. C., Ponce, M., & Moreano, M. (2024). Análisis Comparativo del Potencial Energético Extraíble entre Paneles Fotovoltaicos Fijo y con Sistema de Seguimiento de un Eje Instalados en la ULEAM. *Revista Técnica “energía”*, 20(2), 98–107. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n2.2024.599>
- Piedrahita, A., Cárdenas, L. M., & Zapata, S. (2025). Solar panel waste management: Challenges, opportunities, and the path to a circular economy. *Energies*, 18(7), 1844. <https://doi.org/10.3390/en18071844>
- Pita Mera, K. F., Balderramo Vélez, N. R., & Pita Cantos, L. J. (2024). Optimización energética de una empresa informática en Ecuador mediante un sistema de generación fotovoltaico on-grid. *Ingeniería Energetica*, 45(1), 89–98. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012024000100089&lang=es
- Rubio Guerrero, H. T., Umoa Fajardo, L. I., & Prieto Acosta, J. R. (2022). Estimación de un índice de generación de residuos sólidos para la ciudad de Villavicencio. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12494/45455>
- Salvador Tixe, C. A., & Horn Mutschler, M. (2021). Propuesta tecnológica para la implementación de una planta fotovoltaica de 4.5 kwp para la comunidad rural altoandina San Francisco de Raymina, Ayacucho-Perú. *Revista TECNIA*, 31(1), 28–34. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v21i1.1104>
- Solar Plak. (2025, mayo, 14). Qué es un regulador MPPT. (2020, diciembre 21). Blog de energía solar. <https://solarplak.es/energia/que-es-un-regulador-mppt/>
- Sotelo, C., Castaneda, M., Zapata, S., & Aristizabal, A. (2022). Feasibility study to supply the plastic industry with photovoltaic solar energy. *ECS Transactions*, 107(1), 3167–3178. <https://doi.org/10.1149/10701.3167ecst>
- Su, G., Zhang, C., & Li, Y. (2025). Resource-energy-environment nexus in converting food waste to biobutanol: Potential for resource recovery, energy security, and greenhouse gas

- mitigation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 218, 115781. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115781>
- Sunadi, S., Purba, H. H., & Paulina, E. (2021). Overall Equipment Effectiveness to Increase Productivity of Injection Molding Machine: A Case Study in Plastic Manufacturing Industry. *ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications*, 12(1), Article 1. <https://doi.org/10.21512/comtech.v12i1.6706>
- Toribio-Ramirez, D. A., Detz, R. J., Faaij, A., & Van Der Zwaan, B. (2025). Cost reduction analysis for sustainable ethylene production technologies. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 77, 104306. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104306>
- Weather Spark. (2025). El clima en Cumaral, el tiempo por mes, temperatura promedio (Colombia). <https://es.weatherspark.com/y/24293/Clima-promedio-en-Cumaral-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Yao, Z., Lum, Y., Johnston, A., Mejia-Mendoza, L.; Zhou, X., Wen, Y., Aspuru-Guzik, A., Sargent, E . & Seh, Z.(2022). Machine learning for a sustainable energy future. *Nature reviews materials* 8, 202–215. <https://doi.org/10.1038/s41578-022-00490-5>