

## ANÁLISIS DE LA DEMANDA ENERGÉTICA DE LA EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES Y SU COBERTURA CON ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA: ENFOQUE EN EL DIMENSIONAMIENTO Y LAS PÉRDIDAS TÉRMICAS DEL CIRCUITO

Rodolfo G. Stoll<sup>1</sup>, Ariana Posadas<sup>2</sup>, Ezequiel Podversic<sup>1</sup>, Jorge A. Daghero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Energía Solar – Facultad de Ingeniería – UNRC.

<sup>2</sup>Departamento de Aromáticas y Jardinería – Facultad de Turismo y Urbanismo – UNSL

Ruta 36. Km 601. X5804BYA – Río Cuarto. Prov. de Córdoba

Tel. 0358-46768842 e-mail: [rstoll@ing.unrc.edu.ar](mailto:rstoll@ing.unrc.edu.ar)

**RESUMEN:** Este trabajo analiza la viabilidad técnica de aplicar energía solar concentrada para cubrir la demanda térmica de la extracción de aceites esenciales mediante destilación por arrastre de vapor. Se evaluaron dos escalas de producción: una planta móvil piloto y un destilador de laboratorio, relevando variables operativas, consumos energéticos y rendimientos de extracción. En ambos casos, se midió el rendimiento energético como la relación entre la energía consumida (eléctrica o proveniente del gas) y el volumen de aceite obtenido. Los resultados muestran que, a pesar de las diferencias en escala y fuente energética, el consumo relativo fue similar (0,2 kWh/ml), lo que indica que el proceso es reproducible. Además, se destaca un rendimiento energético promedio en la generación de vapor del 55%. El estudio también incluyó una encuesta a productores de aceites esenciales, identificando barreras para la adopción de tecnologías solares, como el desconocimiento técnico y el alto costo inicial. Estos datos permiten dimensionar sistemas solares adaptados a diferentes escalas productivas y proponen lineamientos para su implementación. La integración de energía solar concentrada, acompañada de formación técnica, representa una estrategia viable para descarbonizar este proceso, especialmente en regiones con alta irradiación solar como el centro de Argentina.

**Palabras clave:** aceites esenciales, energía térmica, concentrador cilíndrico parabólico, circuito térmico, eficiencia energética.

### INTRODUCCIÓN

La demanda de energía térmica en procesos industriales representa una porción considerable del consumo global de energía y emisiones, un informe de la Agencia Internacional de la Energía establece que la demanda de energía térmica representa casi la mitad del consumo global de energía, con los procesos industriales consumiendo el 53% de esa energía térmica. Se proyecta que la demanda de calor industrial se expanda un 16 % a nivel mundial durante el período 2023-2028, con China e India representando conjuntamente más de la mitad de este crecimiento. Durante este período, se espera que el desarrollo de energías renovables represente poco más de un tercio de la demanda adicional de calor. Por lo tanto, se prevé que la proporción de energías renovables en el consumo mundial de calor industrial siga aumentando lentamente, del 12 % en 2022 al 15 % en 2028. (IEA, 2024)

El sector industrial en general es el mayor consumidor de energía principalmente para procesos que requieren temperaturas inferiores a 250 °C. Dos tercios de esta demanda están asociados a la energía térmica y se consigue a partir de combustibles fósiles. Con la creciente urgencia de prevenir un cambio climático severo la rápida reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es imperativa, lo que impulsa la transición hacia fuentes de energía renovable. Si bien la innovación energética avanza, enfrenta desafíos significativos relacionados con la incertidumbre en la inversión, la fragmentación



geopolítica y las restricciones comerciales, las dificultades no técnicas para escalar tecnologías probadas, y las barreras específicas en las economías emergentes y en desarrollo.

Para procesos industriales, que requieren calor en el rango de 100 a 300 °C, los sistemas de concentración solar, como los concentradores cilindroparábolicos (CCP), emergen como una alternativa sostenible y prometedora, alineada con la generación de Solar Heat for Industrial Processes (SHIP). No obstante, su implementación efectiva exige una evaluación técnica rigurosa y una toma de decisiones estratégica, basada en un análisis sistémico que integre múltiples factores críticos. La clave no radica únicamente en adoptar la energía solar, sino en definir cómo, con qué tecnología y a qué escala implementarla, garantizando así una solución óptima en términos técnicos, económicos y ambientales para cada aplicación industrial específica. Esto implica seleccionar metódicamente diseños, componentes y enfoques para el sistema de generación de vapor, respaldados por datos concretos y un profundo conocimiento del contexto socio-económico del proceso. (Ahmad et al., 2025)

Dentro de estos procesos industriales la extracción de aceites esenciales por arrastre de vapor destaca como un caso de estudio relevante: requiere calor a temperaturas entre 100–200 °C, con un alto consumo energético continuo. Actualmente, este método depende predominantemente de calderas a gas o electricidad, lo que incrementa su huella de carbono y costos operativos. Pese a su importancia en industrias farmacéuticas, alimentarias y cosméticas, existen pocos estudios que exploren su integración con energías renovables, como la energía solar concentrada. (Barba et al., 2019).

La producción de aceites esenciales representa una alternativa sostenible para pequeños y medianos productores, especialmente en regiones como el centro de Argentina, como el ejemplo que sucede en Valle del Conlara, San Luis. Su creciente demanda en sectores como la gastronomía, la medicina natural y la cosmética ha impulsado la creación de emprendimientos y políticas educativas especializadas, como es la Tecnicatura Universitaria en Producción de Plantas Aromáticas de la UNSL (Resolución Ministerial R.M. 31/09). Esta carrera, radicada en la Villa de Merlo, un polo turístico enclavado en las Sierras Comechingones, refleja el potencial de esta actividad para dinamizar economías regionales.

La utilización de energía solar concentrada para la generación de vapor en estas instalaciones resulta estratégica, ya que la naturaleza perecedera de las materias primas exige un procesamiento inmediato post-cosecha. Los altos costos de transporte favorecen un modelo descentralizado de producción, permitiendo el procesamiento cerca de las zonas de cultivo y reduciendo significativamente la dependencia de combustibles fósiles caracterizados por su inestabilidad en términos de costo y acceso. Esta aplicación de la energía solar no solo reduce costos logísticos, sino que además, esta estrategia permite aprovechar la alta disponibilidad de radiación solar en zonas con gran potencial energético, como el Valle del Conlara, para satisfacer la demanda térmica. De esta manera se optimiza la sostenibilidad económica y ambiental del proceso. No obstante, su implementación exige superar barreras críticas: el dimensionamiento preciso del sistema para cubrir la demanda de vapor que requiere el proceso de extracción de aceites esenciales y la minimización de pérdidas térmicas en el sistema, que impactan directamente en la eficiencia global del proceso.

En Argentina se han registrado avances en el desarrollo de tecnologías de concentración solar, especialmente orientadas a aplicaciones térmicas de baja y media temperatura. Investigadores del Instituto de Investigaciones en Energía no Convencional (INENCO) de la Universidad Nacional de Salta han trabajado en herramientas numéricas para la simulación del comportamiento térmico de CCP. Uno de sus modelos fue validado experimentalmente mediante un prototipo con un área de apertura de 11 m<sup>2</sup> y un tubo receptor de 6 metros de longitud (Aparicio et al., 2023). En el mismo instituto, se ha desarrollado un modelo térmico utilizando el software Simusol, aplicado a un prototipo con un área de apertura de 5,41 m<sup>2</sup>, como caso de estudio (Dellicompagni y Linares, 2023). Además, el INENCO diseñó y ensayó un prototipo de CCP con fines educativos para calentamiento de agua, alcanzando temperaturas del orden de 70 °C y una eficiencia térmica global pico del 30 % (Dellicompagni et al., 2023).

El Grupo de Energía Solar (GES) de la Universidad Nacional de Río Cuarto ha investigado la tecnología de concentración solar desde 2013, desarrollando un prototipo de CCP para generación de vapor

industrial. Este desarrollo integró dos dimensiones: un diseño mecánico, que incluyó la construcción de la estructura del CCP y la implementación de un mecanismo de seguimiento solar para maximizar la captación; y un diseño térmico, enfocado en optimizar la transferencia de calor y minimizar las pérdidas energéticas.

La primera etapa consistió en el diseño del prototipo (Daghero et al., 2013), su construcción y evaluación experimental del rendimiento térmico (Daghero et al., 2015). Posteriormente se desarrolló un circuito térmico para transmitir la energía solar captada por el CCP a un generador de vapor de agua utilizando como fluido caloportador un aceite nafténico (Paratherm, 2025) de grado alimenticio (Garnica et al., 2018). Debido al bajo rendimiento térmico global obtenido por problemas asociados a la disipación de calor en el circuito térmico, se decidió realizar una modificación del sistema con el fin de mejorar la aislación térmica del mismo. En la nueva versión se incorporaron en el tanque pulmón del sistema, resistencias eléctricas halógenas para asegurar la estabilidad de la temperatura ante fluctuaciones de la radiación solar incidente. La performance de este sistema modificado funcionando en circuito cerrado (sin acoplar al CCP) se evaluó con éxito. El fluido térmico alcanzó una temperatura del orden 150°C al ingreso del generador de vapor. El caudal de vapor generado en estado estacionario fue de 1,3 kg/h con lo cual la eficiencia térmica global fue del 60 %. (Stoll et al., 2023).

Para maximizar la captación solar se implementó un mecanismo para el movimiento azimutal del concentrador, asegurando la incidencia normal de los rayos solares. Inicialmente, se utilizó un mecanismo construido con impresión 3D y con material PLA. (Ortiz et al., 2022).

En el año 2024 se realizaron distintas experiencias que permitieron determinar el comportamiento de un circuito térmico conectado a un CCP. Si bien no se evaluó el desempeño del CCP en el exterior, el sistema auxiliar de calentamiento permitió determinar la influencia de sus componentes en el funcionamiento. Los resultados muestran que si bien la aislación térmica permite reducir el salto de temperatura que se produce en las mangueras flexibles, este valor sigue siendo considerable comparado con los saltos térmicos que se producen en las otras partes del sistema. El aprovechamiento de la energía provista a este sistema con aislación es del 45%, esta performance está influenciada por el fenómeno de alberca, consiguiendo un mejor resultado cuando la temperatura del intercambiador de calor es de 135° C, consiguiendo una producción de 1kg/h. (Stoll et al., 2024).

En este trabajo se realiza un estudio de la eficiencia energética de la tecnología utilizada para la extracción de aceites esenciales. Para ello se evaluó el consumo energético de una planta piloto de extracción de aceites y se lo comparó con el consumo de un equipo de escala laboratorio.

Para estas experiencias, se dispuso de una planta móvil a escala piloto para la producción de aceites esenciales in-situ, que ha sido desarrollada y construida en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Río Cuarto (FI-UNRC) (Figura 2). A través de un convenio de cooperación entre la FI-UNRC y la Facultad de Turismo y Urbanismo de la Universidad Nacional de San Luis (FTU-UNSL), la planta móvil fue trasladada en 2011 a la zona de producción de hierbas aromáticas en el Valle de Traslasierra. El objetivo de este convenio fue establecer una vinculación multi e interdisciplinaria en docencia, investigación y extensión en relación con las diferentes tecnologías de procesamiento post cosecha de especies aromáticas en condiciones silvestres y de cultivo. Los destinatarios directos fueron los alumnos que cursan la Tecnicatura Universitaria en Producción de Plantas Aromáticas y los distintos actores del sector, a través de diferentes actividades de extensión y transferencia. En diciembre de 2022 la Planta móvil fue donada a la FTU-UNSL consolidando así el vínculo interinstitucional y su compromiso con el desarrollo regional.

### ***Ensayos en la Planta móvil PEM 100. Escala piloto***

Entre otras aplicaciones, esta planta de extracción permite la evaluación de especies nativas y exóticas promisorias y la producción de muestras para comercialización como un servicio a los productores de la región. La planta móvil consta de un extractor de aproximadamente 100 litros de capacidad y permite procesar entre 5 a 10 kg de material en cada operación. El vapor es generado fuera del extractor en una caldera de baja presión que funciona con gas envasado y está montada sobre el mismo trailer. Este generador que produce 12 kg/h de vapor a una presión de 1,5 bar, se trata de una caldera pirotubular. El

sistema de condensación de la planta móvil está compuesto por un tanque de agua de 500 litros y está acoplado al condensador del extractor mediante una bomba monofásica de 0,45 HP. En la Figura 1 se muestra el esquema de los dispositivos que integran la planta de extracción de aceites PEM 100.

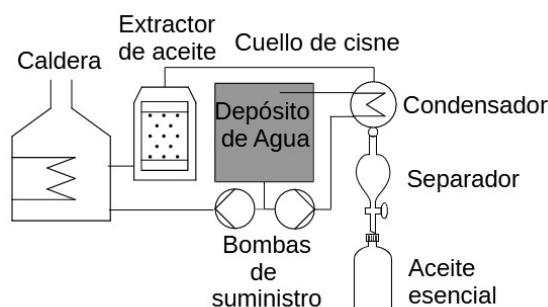


Figura 1: Esquema de la Planta de extracción de aceites PEM 100

En las experiencias realizadas se utilizó butano comercial (envasado en garrafas de 10 kg, 15 kg y 45Kg), que pertenece a los gases de la tercera familia, la cual comprende a los gases licuados del petróleo, grupos propano-butano (P/B) y propano (P), con un índice de Wobbe entre 72,9 MJ/m<sup>3</sup> y 87,3 MJ/m<sup>3</sup>, según el Código Argentino de Gas (NAG-301, 2006). Asimismo, en la República Argentina los valores de composición del propano, butano y mezcla de ambos están fijados por la Resolución 7/2006 de la Secretaría de Energía de la Nación. En el caso de butano comercial la resolución establece que debe cumplir con una composición de al menos 96 ml/100 ml, lo que determina implícitamente un valor de poder calorífico superior (PCS) igual a 49624 kJ/kg, el cual será utilizado en este trabajo. Cabe destacar que determinar el valor exacto del poder calorífico del gas, carece de importancia dado que la variación en la composición del butano comercial permitida por la Secretaría de Energía de la Nación, resulta en una variación de su poder calorífico menor al 0,07% del valor total (Medina et al., 2012).

Tabla 1: Resultados obtenidos de la extracción realizada en la PEM 100

Ensayo	Hierba	Cantidad de material [Kg]	Tiempo de extracción [min]	Consumo de gas [Kg]	Rendimiento [%v/p]	Rendimiento Energético $\eta_E$	Consumo [Kwh/ml]
1	Tomillo	8,75	65	1,080	0,80	0,55	0,21
2	Tomillo	8	65	1,230	0,88	0,48	0,24
3	Tomillo	8	70	1,075	0,88	0,59	0,21
4	Tomillo	8	55	0,840	0,88	0,60	0,17
5	Tomillo	8	50	1,070	1,06	0,43	0,17
6	Tomillo	4,22	40	0,800	1,18	0,45	0,22
7	Orégano	6	50	0,880	0,73	0,52	0,28
8	Orégano	6,52	45	0,82	0,84	0,50	0,21

Durante los ensayos se registraron distintas variables del proceso. El caudal de vapor registrado fue de 12 Kg/h, el caudal del agua de refrigeración es de 3,24 l/min, la temperatura ambiente se mantuvo en un intervalo de 16 a 27 °C, la presión de la caldera fue de 1,5 Kg/cm<sup>2</sup> y la presión de trabajo de 1 Kg/cm<sup>2</sup>. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en la planta de extracción PEM 100, que consistió en medir el consumo eléctrico y de gas para extraer aceites a una cantidad de material orgánico, en estos ensayos se utilizó tomillo y orégano con un contenido de humedad menor al 20% y se estableció un rendimiento térmico que relaciona el caudal de vapor generado ( $\dot{m}_v$ ) multiplicado por el calor de vaporización del agua ( $\lambda$ ) a la presión de trabajo de la caldera y la cantidad de gas utilizado ( $m_g$ ) considerando un poder calorífico superior (PCS) de 49624 kJ/kg, en los tiempos de extracción de cada muestra dado por la Ec. (1).

$$\eta_E = \frac{\dot{m}_v \lambda}{m_g PCS} \quad (1)$$

Los tiempos adoptados quedaron establecidos luego que se notara que el nivel de aceite obtenido se mantuvo constante. También se muestran los rendimientos de extracción que relacionan el volumen de aceite obtenido y la masa de material vegetal en base húmeda utilizado en valores porcentuales.



*Figura 2: Planta de extracción de aceites PEM 100. Merlo, San Luis. Durante el ensayo de rendimiento*

#### ***Ensayo de un destilador comercial. Escala laboratorio***

El extractor por arrastre con vapor de aceites esenciales que se muestra en la Figura 3 consta de una cámara de extracción de aproximadamente 5 litros en donde se introducen dos canastas de malla de acero inoxidable donde se carga el material a extraer. El vapor es generado en el mismo recipiente por medio de una resistencia calefactora aislada. La salida de la cámara de extracción está acoplada a un condensador de contracorriente que se conecta a un elemento colector de aceite e hidrolato que permite su separación. El condensador está acoplado mediante un circuito cerrado a un depósito de agua. El agua de refrigeración es impulsada por una bomba de recirculación con un caudal de 0,6 Kg/min.



*Figura 3: Destilador durante el ensayo*

En la figura 4 se observa los puntos donde se realizaron medidas de temperatura durante el ensayo del extractor de aceites esenciales, se midió la temperatura del canasto superior que contiene la materia vegetal, en la parte superior ( $T_{c1H}$ ) e inferior del mismo ( $T_{c1L}$ ). También se registró la temperatura

del agua contenida en el destilador ( $T_w$ ) y la temperatura de entrada ( $T_{ri}$ ) y salida del agua ( $T_{ro}$ ) que se utilizó como refrigerante del condensador. Asimismo, la temperatura ambiente ( $T_a$ ).

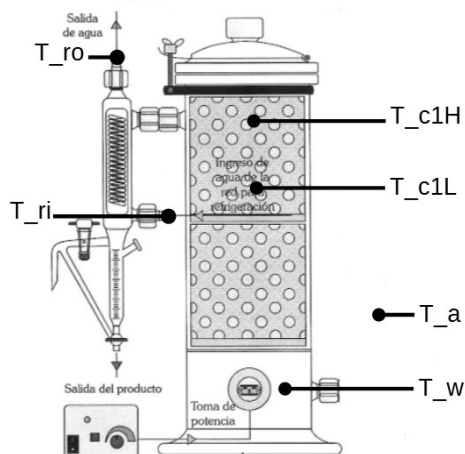


Figura 4. Esquema de experimento, mediciones de temperatura en el extractor de aceites esenciales

Las variables se registraron cada 30 segundos mediante un adquisidor de datos Agilent 34972A. Además, se utilizó un variador de tensión para modificar el consumo de la resistencia calefactora del destilador. La potencia consumida por la resistencia se midió con un voltímetro y una pinza amperimétrica, los cuales fueron contrastados por un vatímetro digital YOKOGAWA modelo WT11. Para determinar el caudal de vapor generado, se registró la masa del vapor condensado a intervalos regulares de tiempo.

En la Tabla 2 se muestran los ensayos realizados con diferentes potencias (800 W y 1325 W), se observa que una mayor potencia acelera el calentamiento del agua y la generación de vapor, lo que reduce el tiempo total de extracción. Sin embargo, la ebullición vigorosa produce un alto caudal de condensación que dificulta la separación de aceite en el separador de extractor de aceites, esta situación se ve reflejada en el rendimiento de extracción de la prueba realizada a mayor potencia. El caudal de vapor obtenido para 800 W fue de 0,75 Kg/h y para 1325 W de 1,3 Kg/h en promedio.

Tabla 2: Resultados obtenidos de la extracción realizada en el extractor comercial

Ensayo	Hierba	Cantidad de material [Kg]	Tiempo de extracción [min]	Consumo eléctrico [Kwh]	Rendimiento [%v/p]	Rendimiento Energético	Consumo [KWh/ml]
1	Orégano	0,6	48	0,67	0,62	0,54	0,178
2	Orégano	0,6	48	1,29	0,38	0,34	0,464
3	Orégano	0,3	48	0,66	0,49	0,55	0,450

En las siguientes figuras se muestran las respuestas de las temperaturas medidas en el sistema, en el caso de la respuesta de la Figura 5, la cantidad de orégano fue de 0,6 Kg y en la Figura 6 fueron 0,3 Kg. En ambas situaciones, la potencia disipada por la resistencia calefactora es de 800 W aproximadamente. Se puede notar que el tiempo donde empieza la destilación a régimen estable es cuando la temperatura  $T_{ro}$  supera la temperatura  $T_{ri}$ , los tiempos medidos en las experiencias estuvieron en el orden de los 22 minutos. La cantidad de orégano no tuvo una influencia significativa en la disminución del tiempo donde inicia la extracción de aceites, lo que indica que la inercia térmica del extractor de aceites es mayor respecto de la masa de hierbas a destilar.

Si se compara los resultados de extracción de aceites mostrados en la Tabla 1 y Tabla 2 se puede observar que el rendimiento de extracción fue menor en el destilador de escala de laboratorio, esta situación está relacionada con la precisión con que puede ser medido la cantidad de aceite obtenido durante el proceso de extracción. Sin embargo, el rendimiento en la generación de vapor en ambos

equipos estuvo en el orden del 0,55 y los consumos energéticos relativos estuvieron en el orden de los 0,2 KWh/ml para las dos escalas de extracción medidas.

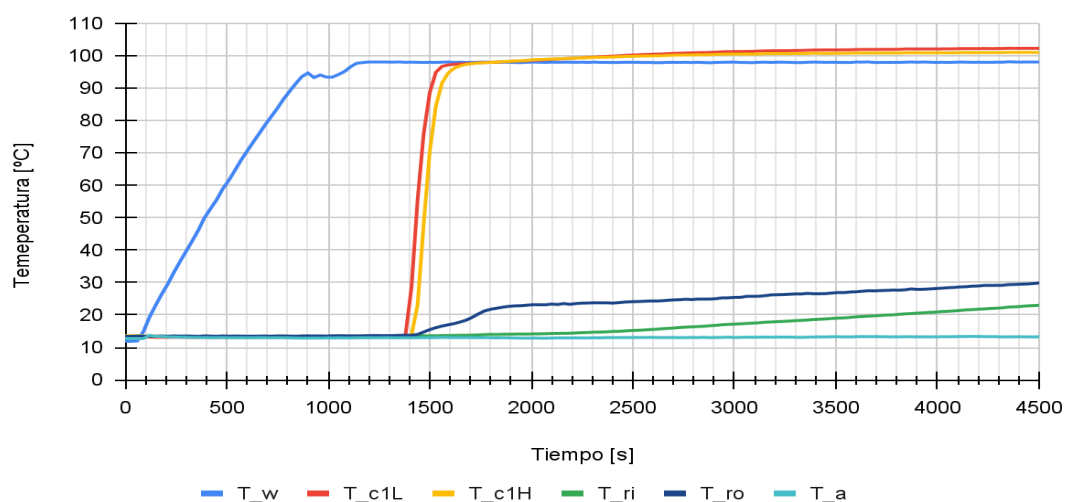


Figura 5: Mediciones de temperatura en el extractor de aceites esenciales con 0,6 Kg de orégano

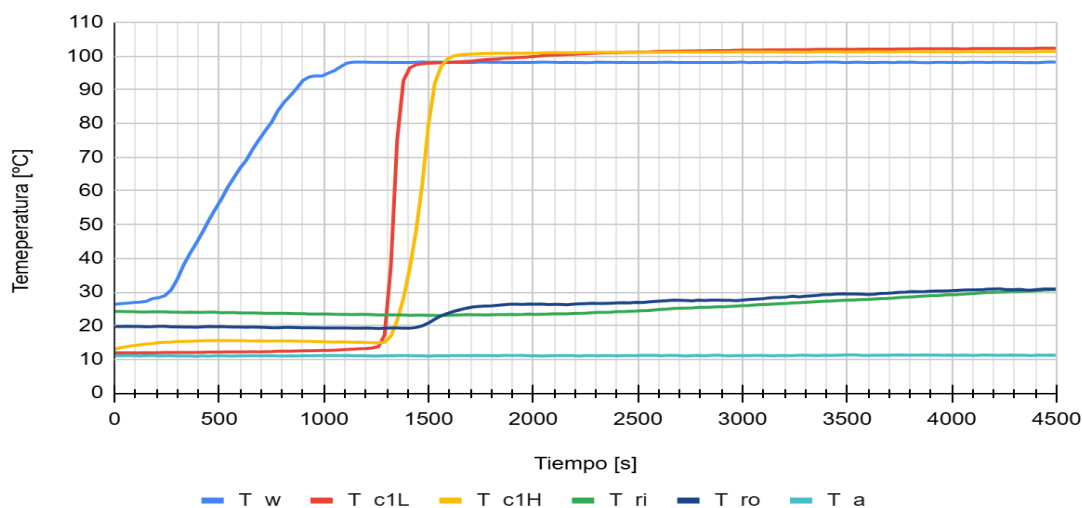


Figura 6: Mediciones de temperatura en el extractor de aceites esenciales con 0,3 Kg de orégano

## ENCUESTA A PRODUCTORES DE ACEITES ESENCIALES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR CONCENTRADA

### Contexto y Metodología

La encuesta fue realizada a pequeños y medianos productores de aceites esenciales en Argentina y España, los encuestados fueron estudiantes que cursaron la Tecnicatura Universitaria en Producción de Plantas Aromáticas. El cuestionario tuvo como objetivo evaluar las necesidades técnicas, energéticas y formativas asociadas al proceso de destilación por arrastre de vapor, con el fin de explorar la viabilidad de implementar Energía Solar Concentrada como alternativa sostenible, se incluyeron preguntas estructuradas en cuatro ejes principales: Perfil del Productor, Infraestructura y Proceso de Destilación, Demanda de Energía y Agua e Intereses y Barreras. Las preguntas realizadas fueron: ¿Es productor de hierbas aromáticas? Si cultiva hierbas aromáticas, ¿qué extensión de superficie utiliza para producirlas? ¿Qué tipos de hierbas destila? ¿Qué capacidad tiene su extractor de aceites esenciales (volumen del extractor)? ¿Cuántas veces destila semanalmente? ¿Para qué utiliza los aceites esenciales? ¿Conoce los fundamentos del proceso de destilación por arrastre de vapor? ¿Qué combustible utiliza para generar vapor? ¿Conoce que cantidad de energía necesita el proceso de destilación por arrastre de vapor? ¿Conoce que cantidad de agua necesita el proceso de destilación por arrastre de vapor? ¿Posee alguna inquietud sobre el proceso de destilación por arrastre de vapor?

Se realizó una encuesta a 9 productores de aceites esenciales en Argentina y España, abarcando desde microemprendedores (con superficies de 20 m<sup>2</sup>) a medianos productores (hasta 200 ha). Los participantes cultivan principalmente lavanda, romero, laurel y eucalipto, utilizando equipos de destilación que comprendían desde sistemas caseros menores a ≤50 l. hasta extractores industriales (100 a 10000 l). La frecuencia de destilación osciló entre 1–3 veces por semana para pequeños productores y procesos continuos durante temporadas en casos de mayor escala. En la Figura 7, se pueden observar distintos equipos relevados.



*Figura 7: Equipos de Destilación de aceites esenciales relevados*

### ***Demanda Energética y Conocimiento Técnico***

El 55% de los encuestados desconocía el consumo energético exacto del proceso de destilación por arrastre de vapor, mientras que el 44% ignoraba los requerimientos de agua. Entre las inquietudes más destacadas, los productores mencionaron la necesidad de reducir costos operativos "Cómo lograr hacerlo sin combustión", "Optimizar recursos" y acceder a capacitación técnica "Me gustaría formarme". Estos resultados evidencian una brecha crítica en el conocimiento sobre eficiencia energética, lo que limita la adopción de tecnologías sostenibles.

### ***Potencial para Sistemas de Energía Solar Concentrada***

El 78% de los productores utiliza gas envasado y el resto leña o electricidad para la destilación. Esta situación representa una oportunidad para la implementación de la energía solar concentrada. Para microproductores (equipos ≤50 l), se recomienda el desarrollo de sistemas modulares de bajo costo, priorizando portabilidad y facilidad de uso.

En cambio, para medianos y grandes productores ( $\geq 1000$  l), se sugiere explorar diseños híbridos (solar + respaldo). La viabilidad técnica dependerá de estudios piloto que cuantifiquen la demanda energética específica (KWh/kg de aceite) en distintas escalas, así como de programas de capacitación en mantenimiento y operación de estos equipamientos.

## CONCLUSIONES

Las experiencias realizadas en ambas escalas mostraron un rendimiento energético en la generación de vapor cercano al 55 %, lo que confirma que el proceso mantiene un comportamiento térmico reproducible aun con diferencias en tamaño, potencia y fuente de energía. Cabe destacar que, mientras la planta piloto contaba con un extractor aislado, el destilador de laboratorio estaba construido en vidrio de borosilicato, material con mayores pérdidas térmicas. Aun así, los valores de eficiencia fueron consistentes, lo que indica que la magnitud de las pérdidas relativas no altera significativamente el balance global del proceso y que la etapa de vaporización domina el desempeño energético. Asimismo, el consumo específico (0,2 kWh/ml de aceite esencial) se mantuvo estable, evidenciando que la eficiencia global no se ve comprometida por el cambio de escala y está relacionado con la cantidad de vapor que necesita por una unidad de masa a destilar. Sin embargo, esta equivalencia debe interpretarse con cautela: mientras que los equipos a gas o eléctricos permiten un control directo de la energía suministrada, el concentrador solar depende de condiciones externas y requiere un dimensionamiento preciso para garantizar estabilidad operativa. Por ello, si bien los resultados de producción son comparables, la transferencia de mejoras tecnológicas desde equipos convencionales hacia esquemas solares requiere un análisis específico, ya que estos últimos dependen de condiciones externas y de un diseño térmico particular. Reconocer estas diferencias es esencial para proyectar una transferencia tecnológica realista hacia sistemas de energía solar concentrada, considerando sus particularidades en cuanto a pérdidas térmicas, inercia del fluido y variabilidad de la irradiación.

Los resultados demuestran que la transición hacia la energía solar concentrada en la producción de aceites esenciales es técnicamente viable, pero requiere soluciones adaptadas a cada escala. La integración de sistemas solares con capacitación técnica podría posicionar a pequeños y medianos productores como actores clave en la descarbonización de procesos industriales térmicos, alineándose con objetivos globales de sostenibilidad. Estudios futuros deberán cuantificar el retorno de inversión de estas tecnologías en contextos reales, especialmente en regiones con alta irradiación solar como el centro de Argentina.

Las principales barreras identificadas incluyen el alto costo inicial de los equipos y la falta de datos precisos sobre eficiencia energética. Para superar estos desafíos, se propone: desarrollar prototipos accesibles, validados en colaboración con productores locales (ej: destiladores de 50 l); crear guías técnicas que vinculen el dimensionamiento de CCP con la demanda térmica real; y promover políticas de financiamiento para pequeños emprendimientos. Estos pasos no sólo reducirían la huella de carbono del sector, sino que también mejorarían su competitividad económica.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Río Cuarto por medio de los proyectos: PPI Período 2024 - 2026.

## REFERENCIAS

- Lahijani A. M., Protheroe M. D., Gschwendtner M., (2025). A modelling tool selection for decarbonising industrial process heat systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 210, 115149, ISSN 1364-0321, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.115149>.
- Aparicio H., Dellicompagni P., Cadena C. (2023). Software para el estudio del desempeño térmico de sistemas de concentración solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 27, 146-157, ISSN 2796-8111.
- Barba F., Gavahian M., Es I., Zhu Z., Chemat F., Lorenzo J. Khaneghah A. (2019). Solar radiation as a prospective energy source for green and economic processes in the food industry: From waste

- biomass valorization to dehydration, cooking, and baking. *Journal of Cleaner Production*. 220, 1121-1130, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.175>.
- Daghero J., Garnica J., Barros J., Rodriguez R. (2013). Concentrador Cilíndrico-Parabólico Aplicado a la Generación de Vapor para la Extracción de Aceites Esenciales de Plantas Aromáticas y Medicinales. *Acta de la XXXVI Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente*. 19, 02.37-02.44, ISSN 2314-1433.
- Daghero J., Garnica J., Buitrago A., Dubini D., Lorenzo C., Manero C., Marticorena M., Martinez M., Sayago U. (2015) Concentrador Cilíndrico Parabólico Aplicado a la Generación de Vapor de Uso Industrial. *Evaluación Óptica y Térmica de un Prototipo*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 19, 03.45-03.54. ISSN 2314-1433.
- Dellicompagni P., Linares J. (2023). Simulación numérica de un concentrador solar cilindro parabólico de baja entalpía con Simusol. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 27, 181-192, ISSN 2796-8111
- Dellicompagni P., Salvo A., Rojas Villena M. (2023). Diseño, construcción y ensayo de un concentrador solar cilindro parabólico para fines educativos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 27, 550-509, ISSN 2796-8111.
- Garnica, J., Daghero, J., Longoni, D., Ortiz, M. (2018). Circuito térmico para la generación de vapor de uso industrial utilizando un concentrador cilíndrico parabólico. *Diseño, desarrollo y evaluación térmica*. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 22, 02.13-02.23, ISSN 2314-1433.
- IEA (2024) [en línea]: *Renewables 2023: Analysis and Forecast to 2028*. Paris: International Energy Agency. Dirección URL <[https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables\\_2023.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/96d66a8b-d502-476b-ba94-54ffda84cf72/Renewables_2023.pdf)> [consulta: el 8 de Agosto de 2025]
- Medina, M., Stoll, R., Garnica, J., Lucchini, M., y Barral J. (2012) Determinación experimental de la eficiencia térmica de calentadores de agua para la producción de agua caliente sanitaria. *Avances en Energía Solar y Medio Ambiente*. 16, 08.207, ISSN: 0329-5184.
- Ortiz M., Stoll R., Daghero J. Podversic, E. y Cortes S. (2022) Desarrollo de un Mecanismo para el Seguimiento Solar Utilizando una Impresora 3D. *Acta de la XLIV Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente*. 9, 156-166, ISBN 978-987-29873-1-2
- Paratherm [en línea] *Fluido de Transferencia Térmica*. Dirección URL: <[https://www.paratherm.com/wp-content/uploads/2022/04/NF-Bulletin\\_Mar2022.pdf](https://www.paratherm.com/wp-content/uploads/2022/04/NF-Bulletin_Mar2022.pdf)> [consulta: 08 de Agosto de 2025]
- Stoll R., Daghero J., Podversic E., Capozzuca C., Paisio G. (2023) Evaluación del desempeño de un circuito térmico para la generación de vapor de uso industrial con energía solar. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 27, 158-168, ISSN 2796-8111.
- Stoll R., Daghero J., Podversic E., (2024) Evaluación de un sistema de generación de vapor industrial asistido con energía solar cocentrada. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. 28, 104-112, ISSN 2796-8111.

## **ENERGY DEMAND ANALYSIS OF ESSENTIAL OIL EXTRACTION AND ITS COVERAGE USING CONCENTRATED SOLAR POWER: FOCUS ON SYSTEM DESIGN AND THERMAL LOSSES**

**ABSTRACT** This study assesses the technical feasibility of using concentrated solar energy to meet the thermal demand of essential oil extraction through steam distillation. Two production scales were evaluated: a mobile pilot plant and a laboratory-scale distiller, recording operational variables, energy consumption, and extraction yields. In both cases, energy performance was quantified as the ratio between the energy consumed (either electrical or gas-derived) and the volume of oil obtained. Results show that, despite differences in scale and energy source, the specific consumption was similar (0.2 kWh/m), indicating that the process is reproducible. Furthermore, an average energy efficiency of 55% was observed for steam generation. The study also included a survey of essential oil producers, identifying barriers to the adoption of solar technologies, such as limited technical knowledge and high upfront costs. These findings provide a basis for sizing solar systems tailored to different production scales and propose guidelines for their implementation. The integration of concentrated solar energy, combined with technical training, represents a viable strategy to decarbonize this process, particularly in regions with high solar irradiance, such as central Argentina.

**Keywords:** essential oil, thermal energy, parabolic trough collector, thermal circuit, energy efficiency.