



Title: Sistema autónomo de concentración solar asociado a un GPS para pasteurizador de leche

Author: Luis Armando, MORENO-CORIA, Gerardo, MINO-AGUILAR, Ricardo,
VÁZQUEZ-PERALES, Alejandro, TÉLLEZ-RAMÍREZ

Editorial label ECORFAN: 607-8534
BCIERMMI Control Number: 2018-03
BCIERMMI Classification (2018): 251018-0301

Pages: 22
Mail: *armando.morenoc@correo.buap.mx*
RNA: 03-2010-032610115700-14

ECORFAN-México, S.C.

244 – 2 Itzopan Street
La Florida, Ecatepec Municipality
Mexico State, 55120 Zipcode
Phone: +52 | 55 6159 2296
Skype: ecorfan-mexico.s.c.
E-mail: contacto@ecorfan.org
Facebook: ECORFAN-México S. C.

Twitter: @EcorfanC

www.ecorfan.org

Holdings

Mexico	Colombia	Guatemala
Bolivia	Cameroon	Democratic Republic
Spain	El Salvador	Republic of Congo
Ecuador	Taiwan	
Peru	Paraguay	Nicaragua

AGENDA

- I. Introducción
- II. Descripción del método
- III. Implementación de las ecuaciones geométricas y la función de control de posición
- IV. Sistema mecánico de Seguimiento Solar
- V. Función de control de posición para altura y azimut
- VI. Pruebas y resultados
- VII. Conclusiones

I. Introducción

- La producción de leche en México genera numerosos empleos en zonas rurales; en la industria de lácteos, abastece el 70% del consumo de lácteos.
- De acuerdo a la literatura se han planteado las ventajas y necesidades de utilizar seguidores solares dinámicos y no solo estáticos.¹
- Las ventajas del seguimiento de la trayectoria solar sin importar la estación del año o la hora del día y así contar con un mejor aprovechamiento de la energía absorbida por los sistemas solares.

¹ Hernández, M. (2017). *Lecheros poblanos, en crisis por importación*. Retrieved from Puebla.

² Rabbani, A. A. (2013). Installing Dual Axis Solar Tracker on Rooftop to Meet the Soaring Demand of Energy for Developing Countries. *Annual IEEE India Conference*. India.

I. Introducción

- Este trabajo presenta un sistema de seguimiento solar autónomo que permite incrementar el rendimiento en la captación de energía solar.
- De bajo costo y sin requerir el uso de un equipo de cómputo con capacidad de realizar el seguimiento solar a través del análisis y síntesis de las ecuaciones trigonométricas que definen la trayectoria solar aparente.

II. Descripción del método

- La Tierra cumple con un ciclo de rotación sobre su propio eje cubierto en un lapso de 24 horas. El eje sobre el cuál nuestro planeta gira diariamente, se encuentra inclinado 23.5° respecto al eje eclíptico.

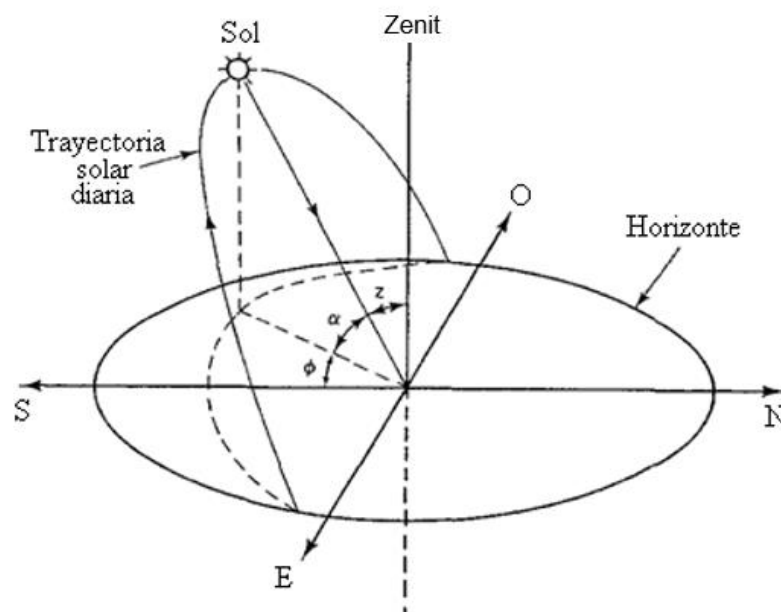


Figura 1. Trayectoria aparente del Sol, ángulo zenital solar z , ángulo de elevación solar α y ángulo de azimut solar ϕ .



BUAP

II. Descripción del método

- Los ángulos de seguimiento solar son dos; el ángulo de elevación solar (α) y el ángulo de azimut solar (Φ).

$$\alpha = \text{sen}^{-1}(\text{sen } \delta \text{ sen } L + \text{cos } \delta \text{ cos } L \text{ cos } HRA)$$

$$\Phi = \text{cos}^{-1} \left(\frac{\text{sen } \delta \text{ cos } L - \text{cos } \delta \text{ sen } L \text{ cos } HRA}{\text{cos } \alpha} \right)$$

Relación Hora-Ángulo (HRA)

$$HRA = 15^\circ (HSL - 12)$$

Declinación solar (δ)

$$\delta = \text{sen}^{-1} \left(\text{sen}(23.5) * \text{sen} \left(\frac{360}{365} (d - 81) \right) \right)$$



BUAP

III. Implementación de las ecuaciones geométricas y la función de control de posición

Las líneas de flujo representan información que va de los módulos a a la electrónica complementaria para que sea procesada en el microcontrolador:

- latitud y longitud proporcionada por GPS,
- hora y fecha determinadas por el RTC,
- orientación del magnetómetro y
- grado de inclinación del acelerómetro.

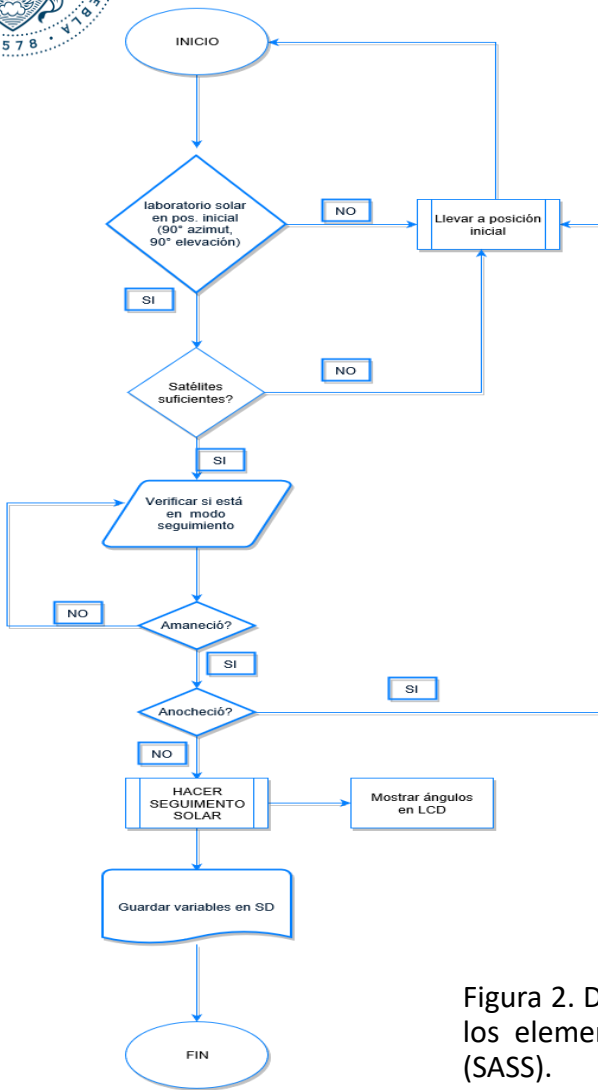
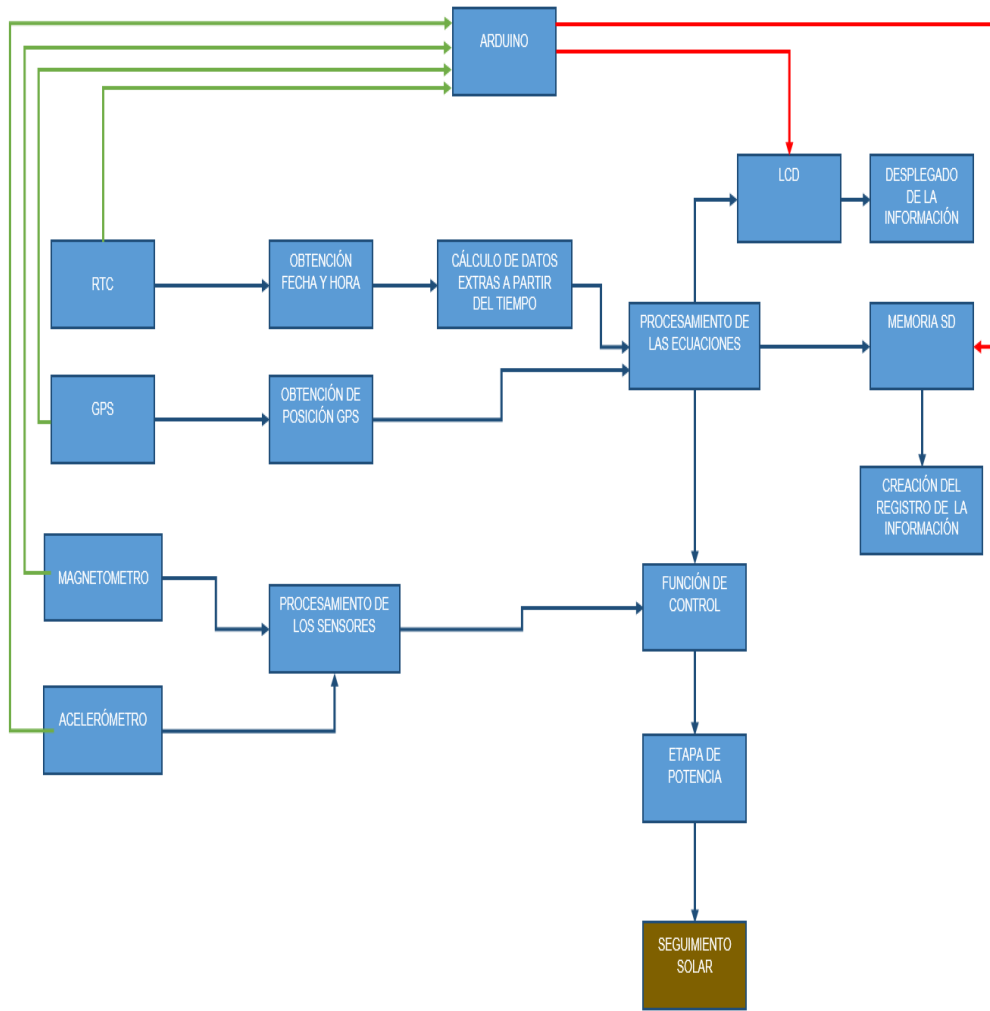


Figura 2. Diagrama a bloques de cómo se realiza la interacción de cada uno de los elementos que conforman el Sistema Autónomo de Seguimiento Solar (SASS).

III. Implementación de las ecuaciones geométricas

y la función de control de posición



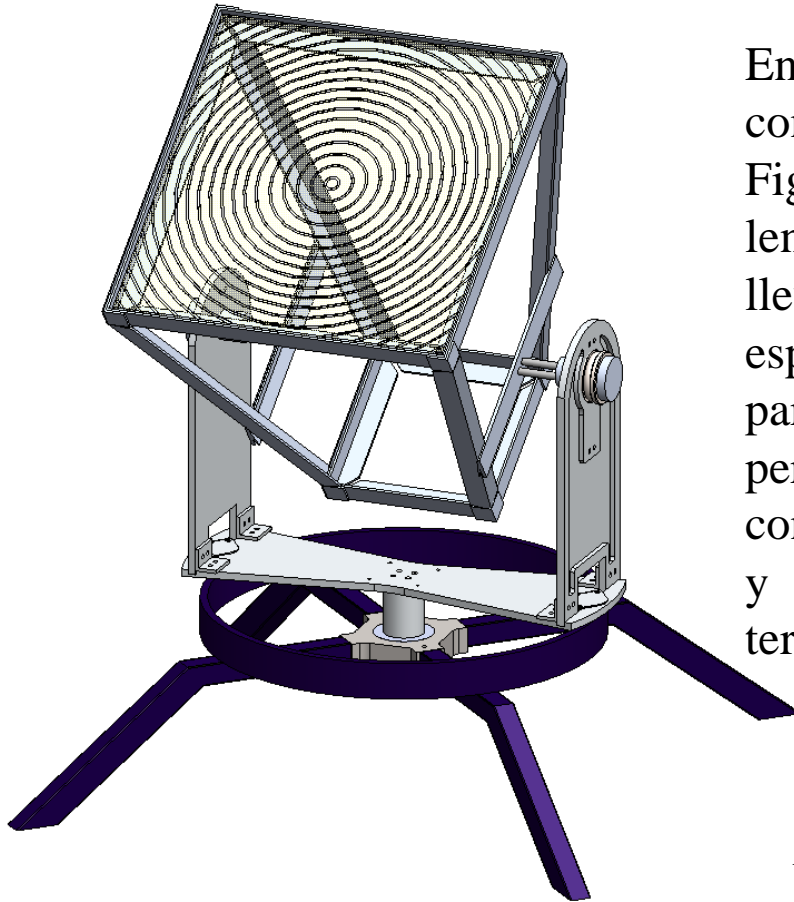
El conjunto de instrucciones que el microcontrolador dará a los elementos que estén conectados a éste para recibir o transmitir información se realiza con protocolos, p. e., el tiempo se utiliza un RTC DS3231 con I2C; para la obtención de la posición se utiliza un GPS U-Blox Neo 6M con interfaz serial.

Figura 3. Diagrama a bloques del sistema autónomo de seguimiento solar.



BUAP

IV. Sistema mecánico de Seguimiento Solar

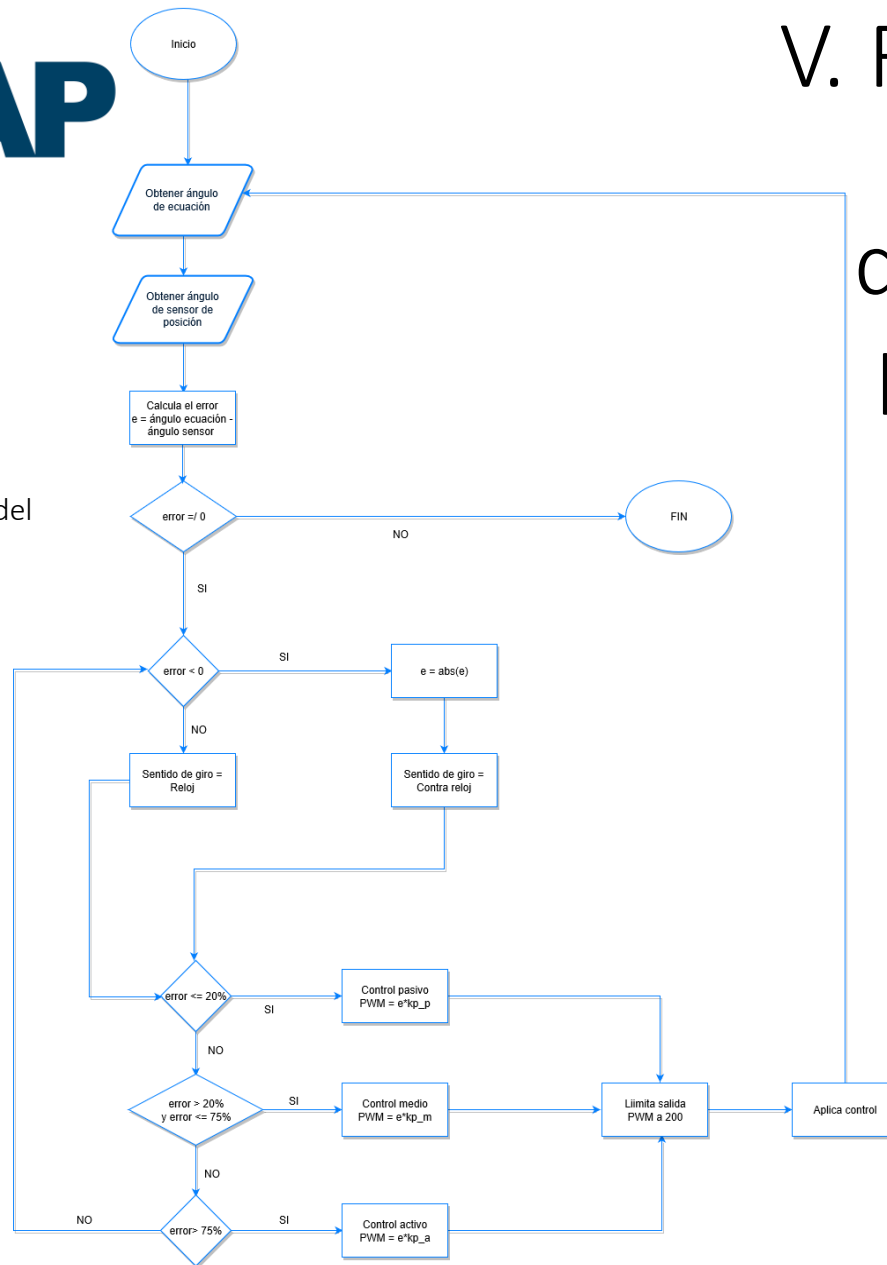


En el diseño se instaló una campana de concentración solar, el cual se muestra en la Figura 4. En la parte superior se colocó una lente de Fresnel de 300 mm x 300 mm permite llevar la radiación solar hacia un punto focal específico en la parte opuesta del trapezoide para obtener radiación solar concentrada, esto permite maximizar la concentración de energía con un valor límite cercano a 700 °C sostenido y útil en aplicaciones termoeléctricas y/o termosolares.

Figura 4. SASS concentradora con lente de Fresnel.

V. Función de control de posición para altura y azimut

Figura 5. Diagrama de flujo del control P en lazo cerrado.



V. Función de control de posición para altura y azimut

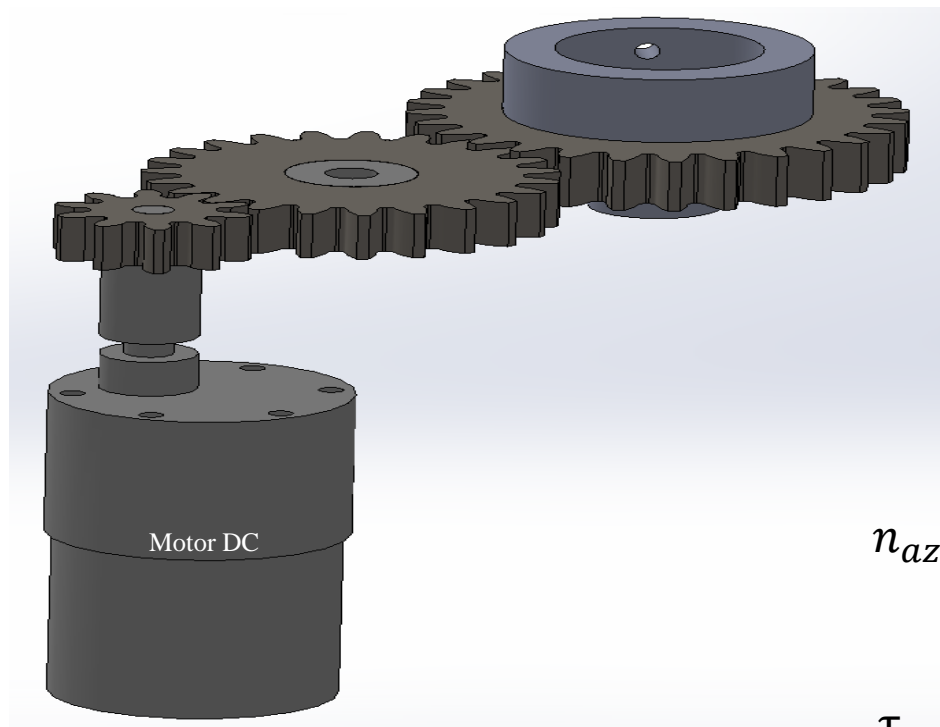


Figura 6. Transmisión para el ángulo de azimut.

$$R_{azimut} = \frac{28}{23} \times \frac{23}{10} = 2.8$$

$$n_{azimut} = \left[\frac{10}{23} \times \frac{23}{28} \right] * 80 \text{ rpm} = 28.57 \text{ rpm}$$

$$\tau_{azimut} = \left[\frac{0.46 \text{ cm}}{0.20 \text{ cm}} \times \frac{0.56 \text{ cm}}{0.46 \text{ cm}} \right] * 18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}}$$

$$= 50.40 \text{ kg/cm}$$

V. Función de control de posición para altura y azimut

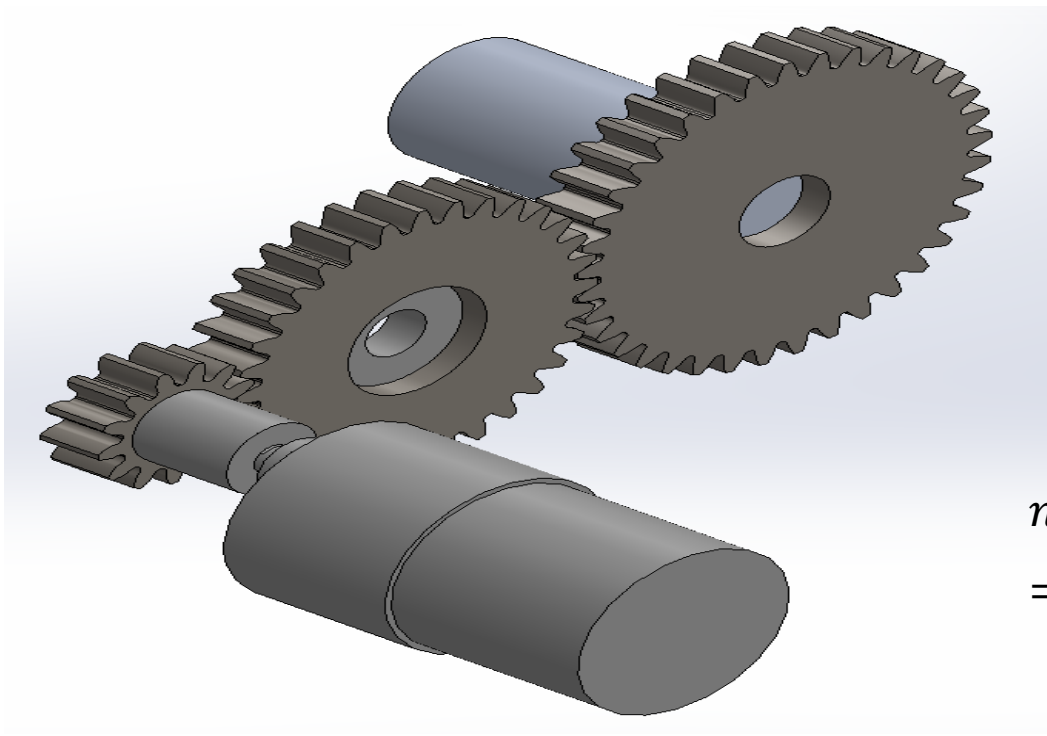


Figura 8. Transmisión para el ángulo de elevación.

$$R_{elevación} = \frac{37}{32} \times \frac{32}{13} = 2.46$$

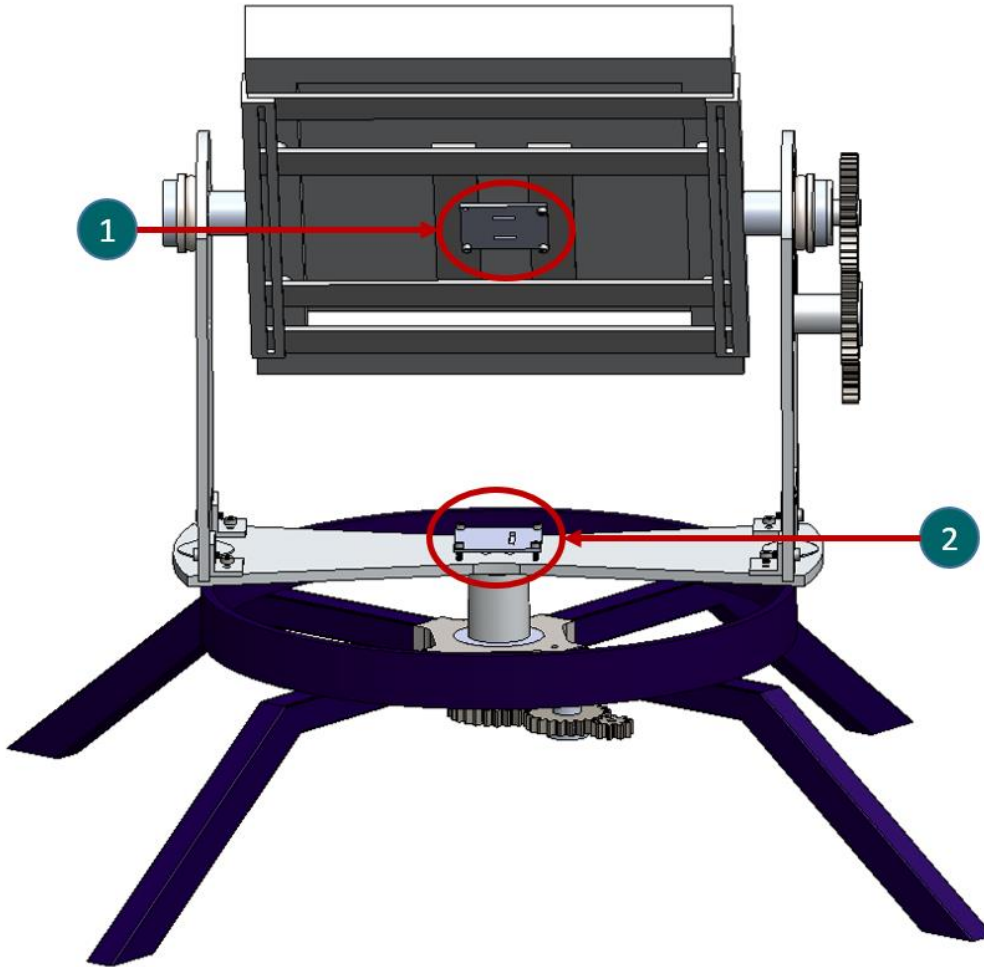
$$n_{elevación} = \left[\frac{13}{32} \times \frac{32}{37} \right] * 80 \text{ rpm} \\ = 28.10 \text{ rpm}$$

$$\tau_{elevación} = \left[\frac{0.5600 \text{ cm}}{0.2275 \text{ cm}} \times \frac{0.6575 \text{ cm}}{0.5600 \text{ cm}} \right] * 18 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \\ = 51.22 \text{ kg/cm}$$



BUAP

V. Función de control de posición para altura y azimut



En 1 se muestra la posición del sensor y sistemas de transmisión para el ángulo de elevación, este sensor es un acelerómetro capaz de medir la inclinación que tiene la lente de Fresnel respecto al plano normal de la superficie sobre la que descansa.

Figura 9. Ubicación de los sensores y engranes para (2) de azimut y (1) de elevación.



BUAP

V. Función de control de posición para altura y azimut

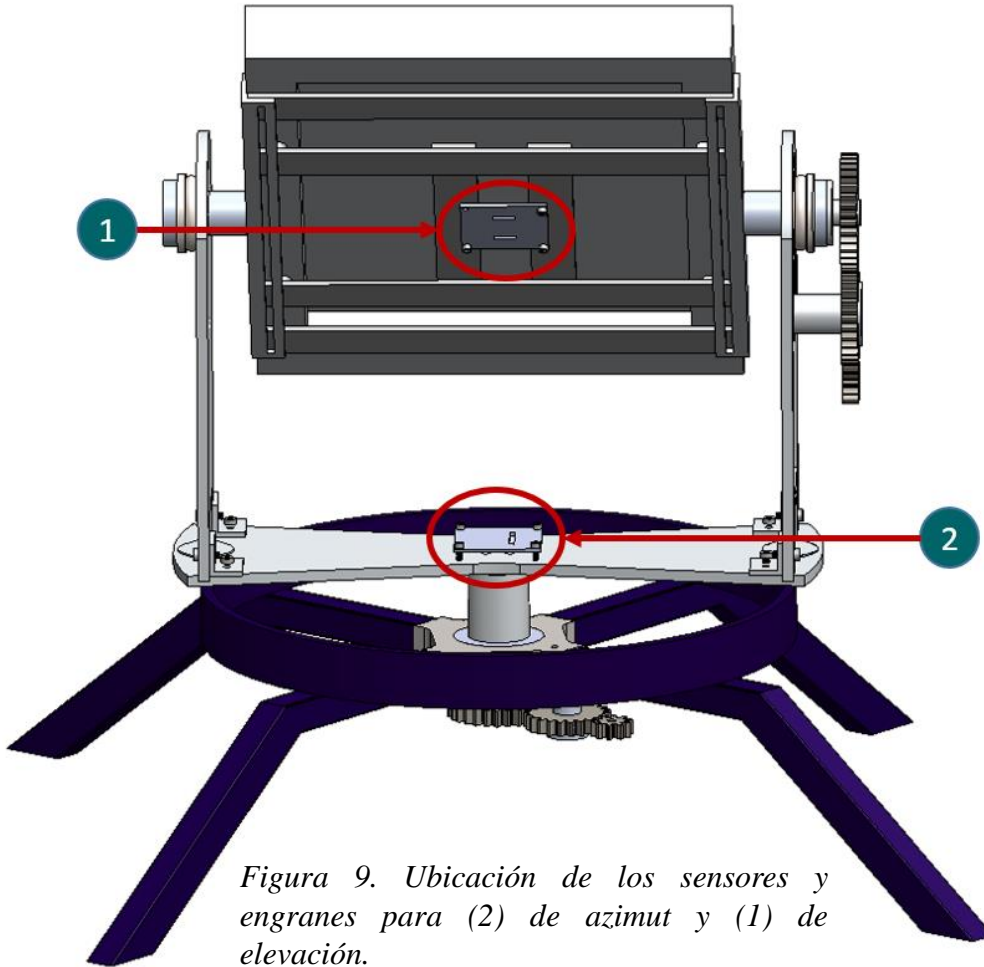
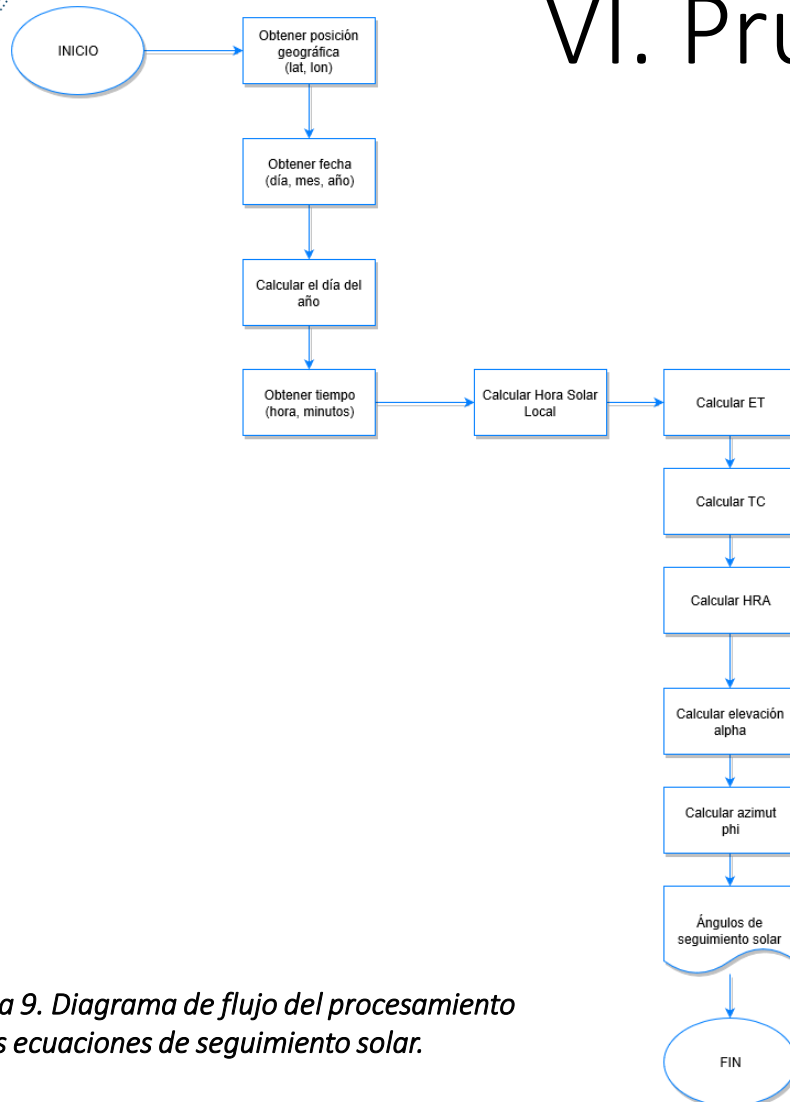


Figura 9. Ubicación de los sensores y engranes para (2) de azimut y (1) de elevación.

En 2 se muestra la ubicación del sensor para el ángulo de azimut, se implementó con un magnetómetro. Se escogió dicha posición debido a que el sensor podrá ser capaz de girar a la par de la base del prototipo; es paralelo a esta posición donde se ubica la placa metálica de concentración donde se transferirá la radiación térmica a la leche para su pasteurización.

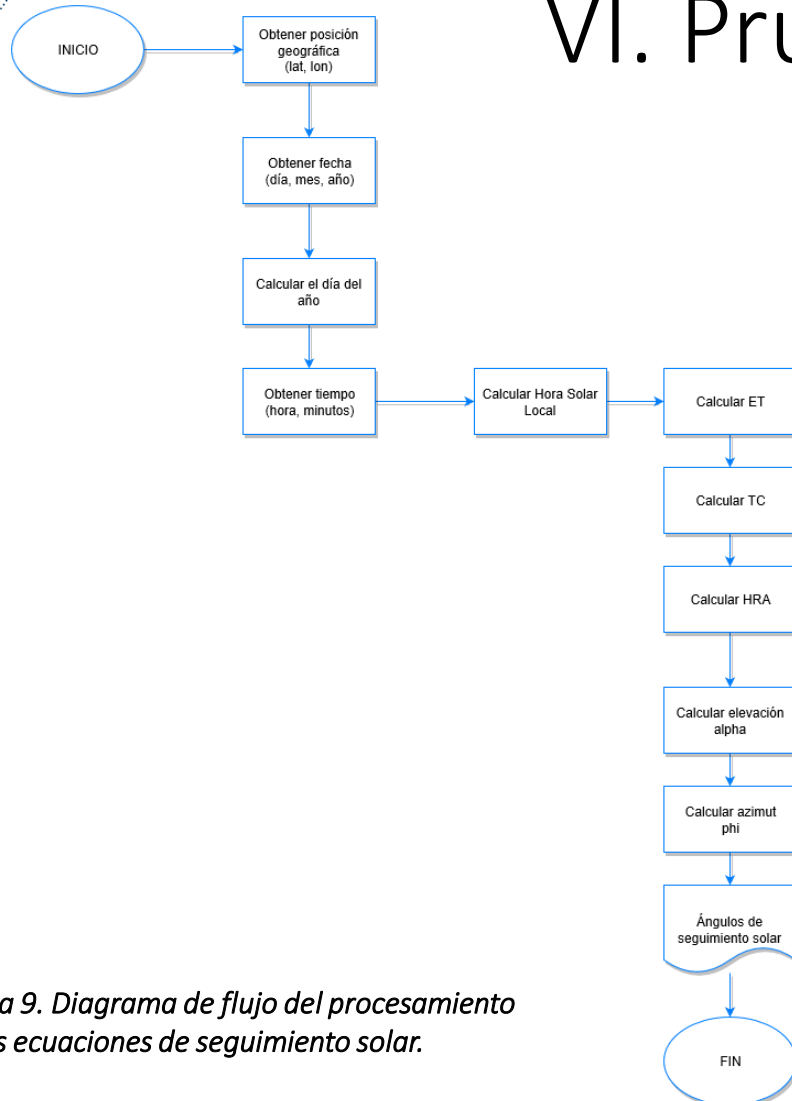
VI. Pruebas y resultados



Las ecuaciones son resueltas a través del código programado como calculadora solar, diseñado en MATLAB. Se comparo con una implementación ‘sketch’ de Arduino, donde se incluyen los datos necesarios para la resolución de las ecuaciones, a través de los recursos disponibles en el microcontrolador.

Figura 9. Diagrama de flujo del procesamiento de las ecuaciones de seguimiento solar.

VI. Pruebas y resultados



Se usó como otro método de comparación, una calculadora solar³; disponible como aplicación web, donde se puede conocer la posición de sol (altura y azimut) y proporciona entrada como entrada de datos, la posición y tiempo.

³ Honsberg, C. y. (6 de enero de 2016). *Properties of sunlight: Sun Position Calculator*. Obtenido de Properties of sunlight: Sun Position Calculator: <http://pveducation.org/pvcdrom/properties-of-sunlight/sun-position-calculator>

Figura 9. Diagrama de flujo del procesamiento de las ecuaciones de seguimiento solar.

VI. Pruebas y resultados

diayear = 147	day number <input type="text" value="147"/> days	Diayear: 147.00
EoT = 3.0307	EoT <input type="text" value="3.01"/> min	EoT: 3.03
TC = -28.8715	Time Corr. <input type="text" value="-28.99"/> min	TC: -28.87
decligrad = 21.0586	declination <input type="text" value="21.27"/> deg.	Declin: 21.12
HRA = 55.1132	hour angle <input type="text" value="55.25"/> deg.	HRA: 55.11
elevaciongrad = 38.4251	altitude <input type="text" value="38.34"/> deg.	Elevacion: 38.43
azimuthgrad = 282.2783	azimuth <input type="text" value="282.52"/> deg.	Azimet: 282.35

MATLAB

CALCULADORA SOLAR

ARDUINO

Figura 10. Comparación con diferentes métodos el resultado del procesamiento de las ecuaciones que definen la trayectoria solar.



BUAP

VI. Pruebas y resultados

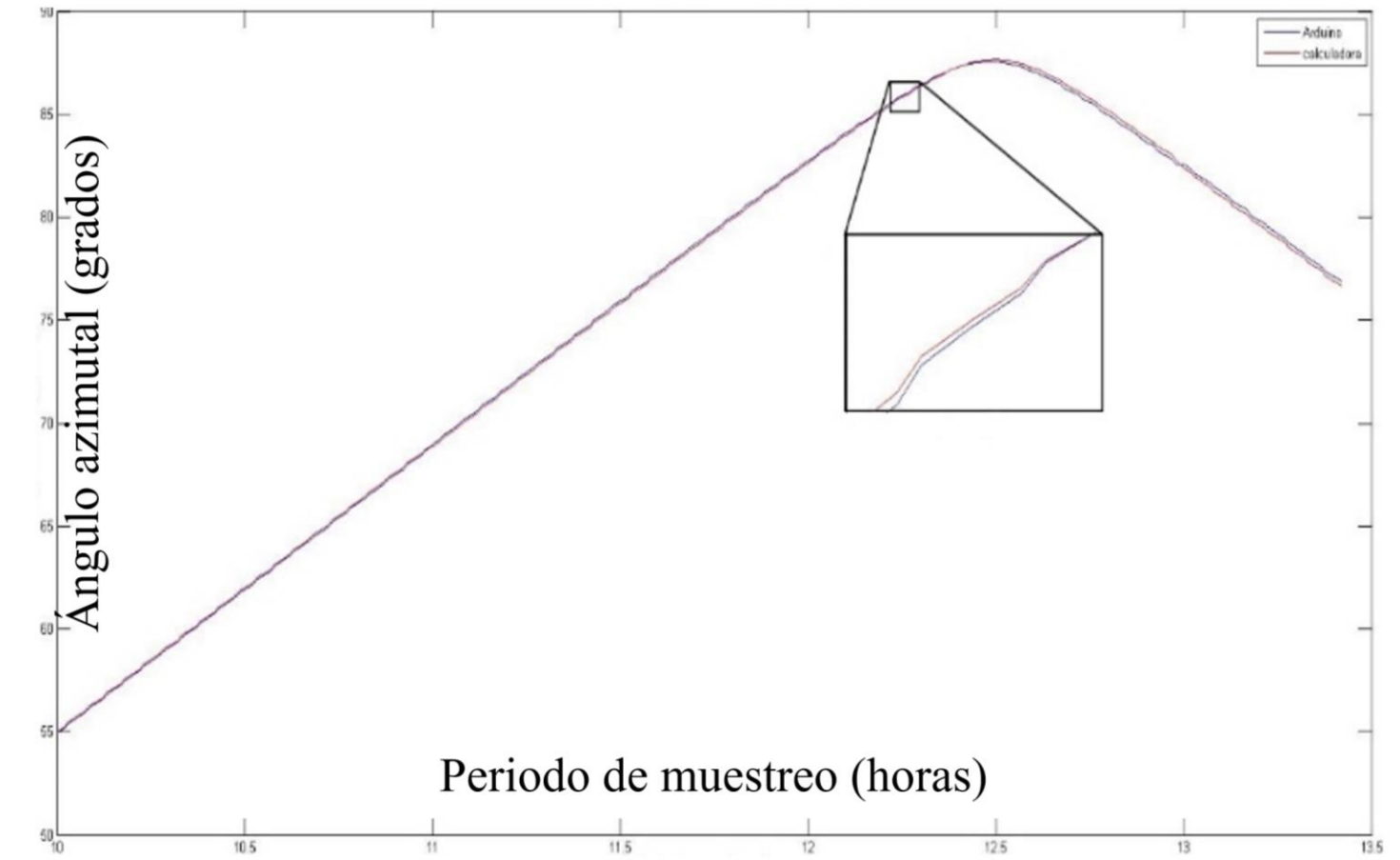


Figura 11. Comparativo del cálculo del ángulo de azimut en la resolución de las ecuaciones.



BUAP

VI. Pruebas y resultados

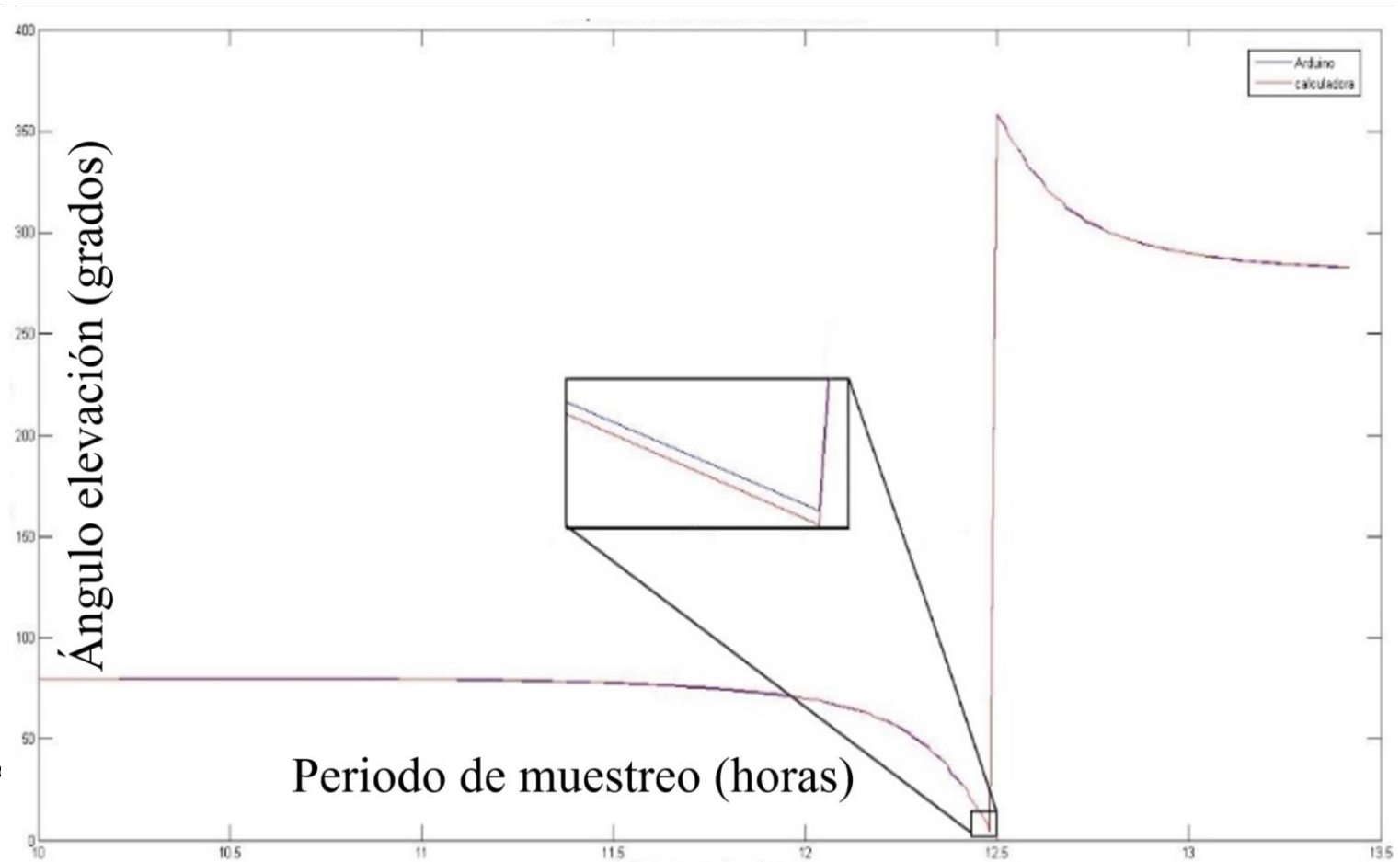


Figura 12. Comparativo del cálculo del ángulo de azimut en la resolución de las ecuaciones.



BUAP

VI. Pruebas y resultados

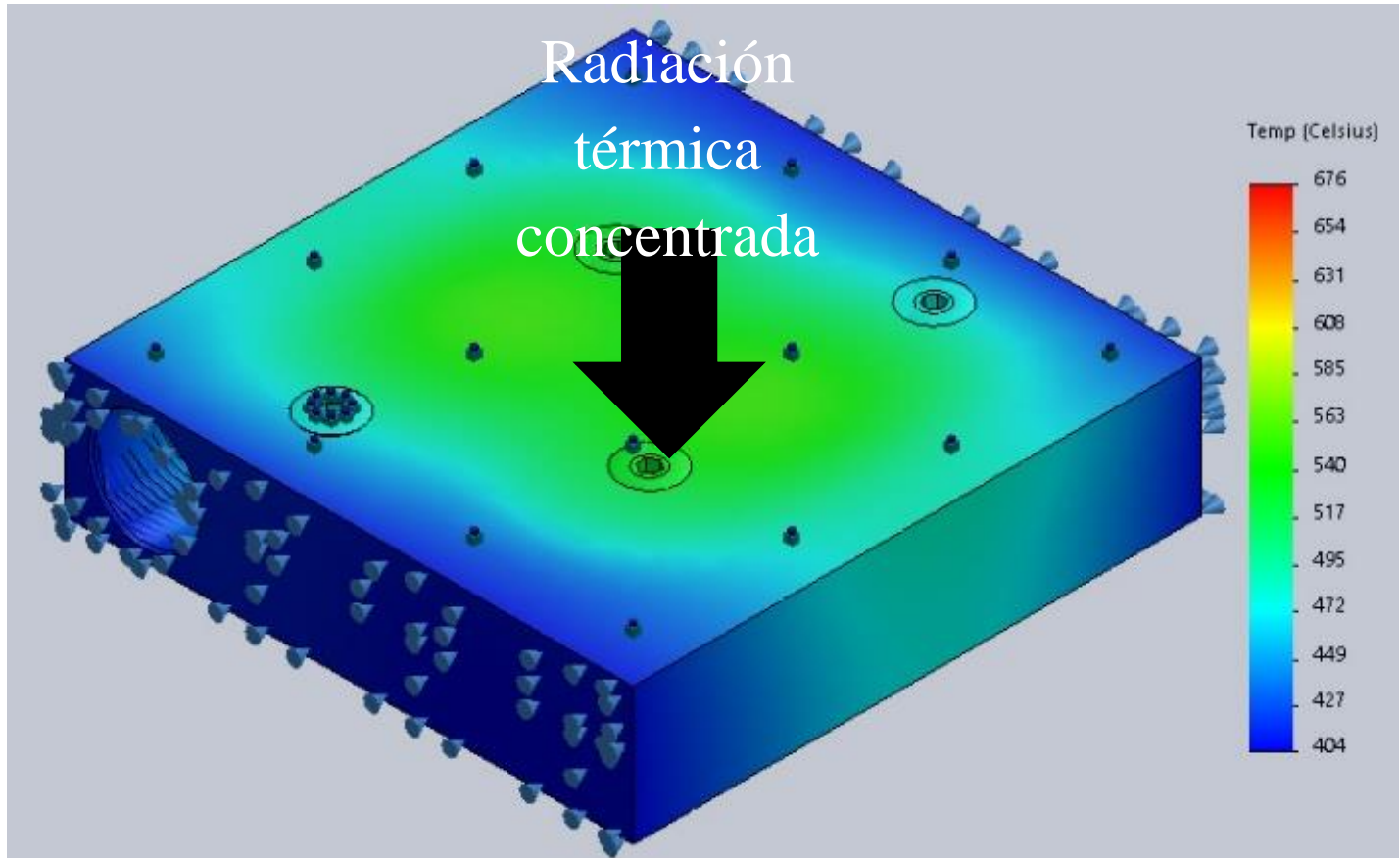


Figura 13. Gradiente térmico en la placa de concentración INOX 304, sometida a una radiación térmica concentrada.



BUAP

VI. Pruebas y resultados

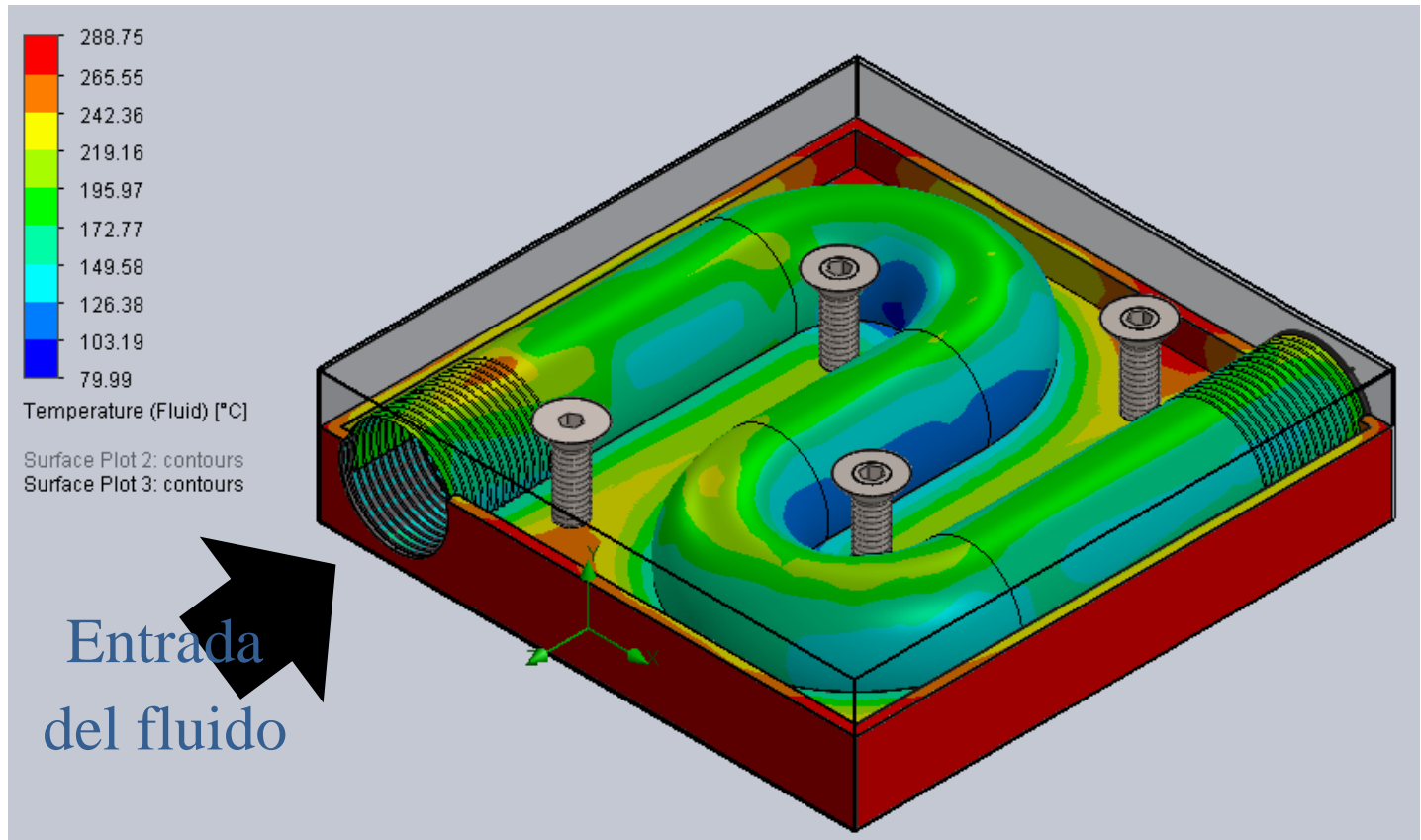


Figura 13. Gradiente térmico en la placa de concentración INOX 304, con grabado de tubo de 1"

VII. Conclusiones

- Las variables que describen la trayectoria solar aparente (tiempo y posición geográfica) fueron procesadas de manera adecuada, obteniendo así la función que define el seguimiento solar autónomo.
- Se realizó la implementación de un sistema controlado por la plataforma Arduino partiendo del diseño y construcción de un prototipo de laboratorio solar y el uso de un concentrador solares para comprobar el funcionamiento de Sistema Autónomo de Seguimiento Solar (SASS).

VII. Conclusiones

- Finalmente, se tienen los registros de las bases de datos de la información recopilada a lo largo de la etapa experimental de pruebas; estos datos pueden ser utilizados para hacer análisis estadísticos sobre la producción energética y continuar con el estudio del fenómeno del seguimiento solar.
- A la par de la realización este trabajo, la comunidad científica se encuentra desarrollando una tecnología con gran impacto, llamada Internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés). Esta tecnología permite crear una red de trabajo entre dispositivos de uso diario y el internet. Se propone el hacer uso de estos elementos para agregar al Sistema Autónomo de Seguimiento Solar un medio de comunicación y monitoreo a distancia.



ECORFAN®

© ECORFAN-Mexico, S.C.

No part of this document covered by the Federal Copyright Law may be reproduced, transmitted or used in any form or medium, whether graphic, electronic or mechanical, including but not limited to the following: Citations in articles and comments Bibliographical, compilation of radio or electronic journalistic data. For the effects of articles 13, 162,163 fraction I, 164 fraction I, 168, 169,209 fraction III and other relative of the Federal Law of Copyright. Violations: Be forced to prosecute under Mexican copyright law. The use of general descriptive names, registered names, trademarks, in this publication do not imply, uniformly in the absence of a specific statement, that such names are exempt from the relevant protector in laws and regulations of Mexico and therefore free for General use of the international scientific community. BCIERMMI is part of the media of ECORFAN-Mexico, S.C., E: 94-443.F: 008- (www.ecorfan.org/ booklets)