

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA ENSAYO DE UN MOTOR SOLAR DE CICLO STIRLING

Marcelo Watkins¹, Matias Ferraro², Luis Coria², Victor Guzman¹, Carlos Kozameh³

(1) ICEN - Laboratorio de Energía – Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Unca

(2) Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - Unca

(3) Facultad de Astronomía, Matemática y Física - UNC

Tel. 383-4559665 e-mail: watkinsmarcelo@gmail.com

Recibido 07/08/18, aceptado 19/09/18

RESUMEN: Se muestran avances en el diseño de la electrónica del sistema de medición y adquisición de datos para determinar la eficiencia de un motor de ciclo Stirling cuya potencia nominal es del orden de 3 HP, a 500 r.p.m. y que fue diseñado para funcionar con radiación solar concentrada. La configuración de la electrónica de medición y la adquisición de datos se adaptan al motor MET 2 construido por técnicos e investigadores del Instituto Universitario Aeronáutico de Córdoba. Los resultados de las mediciones se pueden ver en tiempo real, a través de un enlace inalámbrico, en una pantalla de computadora usando el software LabView. El objetivo principal es determinar la potencia real del trabajo y la eficiencia de este motor en diferentes condiciones de funcionamiento. Se realizan mediciones con el motor girando sin carga para calibrar los sensores electrónicos. El proyecto está en la etapa de desarrollo.

Palabras clave: energía solar, motor Stirling, adquisición de datos.

INTRODUCCION

Durante los últimos treinta años, la humanidad ha tomado conciencia de la degradación ambiental presente y futura que origina el consumo de combustibles fósiles. La investigación se orienta cada vez más a la sustitución de la energía fósil, la eficiencia energética y el uso de energías renovables. Los motores Stirling funcionando con radiación solar como fuente de calor, pueden ser una de las alternativas para el reemplazo de motores contaminantes.

El empleo de modelos matemáticos y el desarrollo de una técnica de simulación que permita obtener resultados rápidamente, es empleado frecuentemente para el diseño de estos motores. Se han desarrollado herramientas de cálculo que pueden aplicarse posteriormente al ensayo de diferentes configuraciones del motor y que permiten optimizar el diseño antes de su fabricación (Saravia et al 2010). En este sentido, Watkins et al (2014) emplean el software Simusol, para realizar ensayos por simulación del motor Stirling, en diferentes condiciones de trabajo y con diferentes gases. Las curvas obtenidas proporcionan información que deberá ser validada mediante mediciones. Actualmente es posible incluso, emplear herramientas informáticas de diseño de motores Stirling (PEM), que permite la concepción de un motor de forma ágil y simple (Scollo et al, 2009).

El Centro de Energía de la Universidad Nacional de Catamarca en colaboración con el Instituto Universitario Aeronáutico de la Universidad Nacional de Córdoba, trabajan en el desarrollo experimental de motores de ciclo Stirling.

En trabajos anteriores, se muestra el diseño y construcción de un banco de pruebas para realizar ensayos con el motor MET2 y se muestran algunos resultados preliminares (Watkins et al 2017).

MATERIALES Y METODO

Se trabaja en un sistema de adquisición de datos pensado para la caracterización y ensayos de un motor Stirling. El proyecto consta de dos fases: Caracterización del motor y Optimización, modificando parámetros de trabajo del motor. Se emplea el software LabVIEW como herramienta de programación para visualizar mediciones en tiempo real durante los ensayos. Los principales parámetros a medir durante los ensayos son: Presión del gas de trabajo, temperatura en diversos puntos del motor, torque o par de trabajo y régimen de revoluciones. Con el torque y las r.p.m. se calcula luego la potencia real entregada por el dispositivo. Debido a que se emplea agua como fluido de enfriamiento del cilindro de trabajo, es necesario medir el caudal de agua circulante y las temperaturas de entrada y salida de la misma a fin de poder determinar la pérdida de calor que se produce en dicho circuito.

Los sensores de presión, temperatura, torque y revoluciones por minuto, se conectan a un adquirente de datos marca Labjack Serie T7 que mediante los protocolos de comunicación Ethernet o USB logra una adquisición de alta performance, estabilidad y confiabilidad. El dispositivo se conecta a una PC mediante la red permitiendo el almacenamiento de grandes bases de datos y la visualización en tiempo real sobre la pantalla de la misma (Figura 1).

Para el sensado de la presión media de trabajo se emplea un sensor manométrico marca Nagano, tipo ADZ-S20, que puede medir en un rango de 0 a 25 bares.

Las temperaturas superiores a los 200 C, se miden con termocuplas tipo K conectadas mediante un módulo adaptador MAX6675, que amplifica, compensa y convierte a digital el voltaje generado por el termopar.

La velocidad de rotación del motor se determina mediante un enlace óptico de tipo emisor-receptor infrarrojo asociado a una rueda dentada de 36 dientes que proporciona una precisión de 10° en la medición del ángulo girado por el eje del motor. La salida del receptor infrarrojo es un tren de pulsos fácilmente cuantificable por el adquirente de datos.



Figura 1- Imágenes de la pantalla de LabView y del tablero electrónico
Fuente: Elaboración propia

El torque o par de trabajo se mide utilizando un freno de disco magnético vinculado mecánicamente a una celda de carga. La salida de la celda de carga es un pequeño voltaje que se acondiciona mediante un módulo acondicionador para celda de carga tipo Hx711, el cual conforma y digitaliza la señal antes de ser introducida al adquirente.

Para determinar las pérdidas de calor en la fuente fría, se colocan dos sensores de temperatura tipo PT100 conectados en configuración diferencial a un amplificador operacional LM358, de modo que la salida del amplificador entrega una tensión proporcional a la diferencia de temperaturas entre la entrada y la salida del agua. Se completa la medición con el sensado de caudal empleando un caudalímetro tipo YF-S201 que genera 450 pulsos por cada litro de agua circulante.

Debido a que el motor Stirling requiere condiciones particulares para su funcionamiento se emplean como elementos adicionales al banco, una bomba de vacío, un tubo de gas Nitrogeno y una estufa de 4kW con control electrónico de temperatura. La estufa de calefacción actúa sobre la toma de calor del motor, diseñada para recibir energía solar concentrada mediante una pantalla parabólica de 3 metros de diámetro. Debido a que los ensayos deben realizarse en el laboratorio, se emplea una estufa en reemplazo del espejo parabólico. El control de la temperatura de la estufa se realiza empleando un Pirómetro digital de control asociado a un relay de estado sólido que maneja corrientes de 18 a 20 Amp cuando se exige la máxima potencia de la estufa (Figura 2).

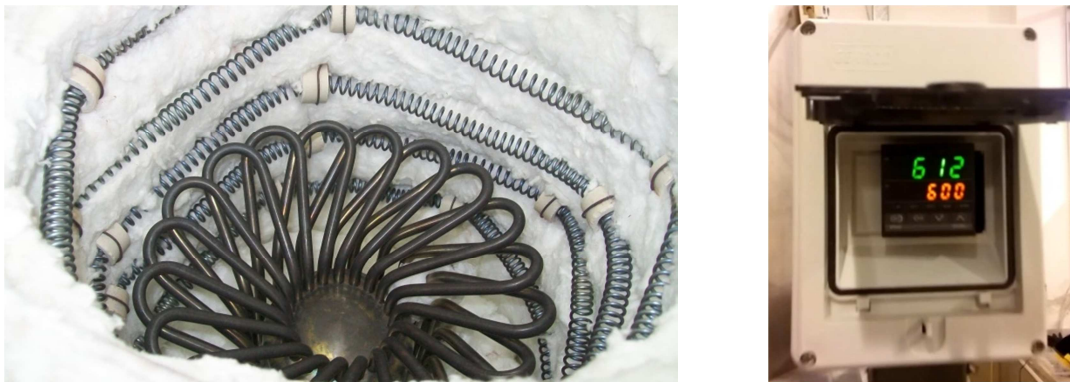


Figura 2 - Imágenes de estufa de 4kW y del Pirómetro digital de control de temperatura
Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

Primer ensayo (presión media de Nitrógeno 2 bar)			
Temperatura Estufa (°C) (programada)	Temperatura en Toma de Calor (°C)	Revoluciones por minuto (rpm)	Flujo de agua (l/m)
500	442	333.3	2
550	520	375.0	2
600	570	491.7	2
600	570	500.0	4
650	630	591.7	4
700	664	616.7	1.3

Tabla 1. Primeros ensayos a una presión media de 2 bar
Fuente: Elaboración propia

Los primeros ensayos se realizan con el motor girando en vacío. Esto se debe principalmente a que el freno de disco de Faraday se encuentra en proceso de fabricación y a que se requieren ensayos del motor sin carga que permitan estimar las pérdidas totales del dispositivo y deducir

posteriormente las pérdidas por fricción mecánica. Los ensayos sin carga nos permiten además realizar ajustes en los dispositivos de medición del banco.

El primer ensayo se realiza con una presión media de carga de Nitrógeno de 2 bares, y se varía la temperatura desde 500 °C hasta 700 °C, con saltos de 50 °C. Debido a que se trata del primer ensayo, se introducen también variaciones en el flujo de agua del circuito de enfriamiento. Los resultados pueden verse en la Tabla 1.

Las mediciones se realizan empleando simultáneamente otros instrumentos (voltímetro, frecuencímetro, osciloscopio) para validar las lecturas que se obtienen con el sistema de adquisición de datos. Se repite la misma medición cinco veces con intervalos de cinco minutos (manteniendo constantes la presión y la temperatura del horno) a fin de determinar un valor medio y se calcula el error cuadrático medio. En todos los casos dicho error resulta inferior al 5%. Luego se ajustan las constantes del código de programación de LabView para que muestre en pantalla el valor promedio determinado.



Figura 3. Imágenes del Banco de pruebas en diferentes estados de avance

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

Las mediciones realizadas arrojan resultados muy satisfactorios, con errores inferiores al 5% en la verificación de todos los parámetros medidos. Debido a que el proyecto se encuentra aún en etapa de desarrollo, nos resta realizar mediciones con presiones más altas y luego con el freno magnético instalado.

REFERENCIAS

- Saravia L., D. Alía de Saravia y R. Echazú (2010) - Simulación numérica de un ciclo Stirling de tipo alfa con calentamiento solar. - *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* - Vol. 14 pp. 3169–3176.
- Scollo L., P. Valdez, J. Fritsch, J. Barón (2009) – “Avances en el desarrollo y construcción de máquinas de ciclo stirling” - *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* – Pág. 09.13 – 09.20, Vol 13 - ISSN 0329-5184.

- Watkins M., V. Aramburu, C. Kozameh, C. Sola Marimon (2014) – “Estudio de sensibilidad de un motor de ciclo Stirling empleando simulaciones”. *Revista Aportes Científicos en Phymath* – Argentina – ISSN 2313-9455 – v.3 – p.53-70
- Watkins M., M. Ferraro, L. Coria, V. Guzman, C. Kozameh – (2017) – “Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para ensayo de motor Stirling” – Publicado en *Actas de SEMPA – Semana de Puertas Abiertas de la FACEN* – ISBN: 978-950-746-261-0 – v.1 – p.57.

ABSTRACT: It is shown progress in the design of electronics of measurement and data acquisition sistem to determine the efficiency of a Stirling cycle engine whose nominal power is in the order of 3 HP, at 500 r.p.m. and that it was designed to work with concentrated solar radiation. The configuration of the measurement electronics and data acquisition are adapted to the MET 2 engine built by technicians and researchers of the Aeronautical University Institute of Córdoba. The results of the measurements can be viewed in real time, through a wireless link, on a computer screen using the LabView software. The principal objective is to determine the real power of work and the efficiency of this engine in different conditions, in order to optimize its operation. Measurements are made with the motor running whitout load in order to adjust the electronic sensors of the motor. The project is in the development stage.

Keywords: solar energy, Stiring engine, data acquisition.