

# IMPLEMENTACIÓN Y ENSAYO DE UN SISTEMA DE MICRO- COGENERACIÓN BASADO EN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

## IX CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA TERMODINÁMICA

REY GONZÁLEZ, Guillermo <sup>(1)</sup>; ULLOA SANDE, Carlos <sup>(1)</sup>

MÍGUEZ TABARÉS, José Luís <sup>(2)</sup>; CACABELOS REYES, Antón <sup>(1)</sup>

guillermo.rey@tud.uvigo.es

(1)Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín

(2)Universidad de Vigo, Departamento de Ingeniería Mecánica, Área de Máquinas y Motores Térmicos

### RESUMEN

Dentro del panorama energético actual, en el que la demanda de energía y a la vez la preocupación medioambiental por obtener energías más limpias no paran de crecer, y sumado a que las reservas de combustibles fósiles son limitadas, surge la necesidad de obtener energía de fuentes menos contaminantes o de una manera más eficiente. Una opción interesante, con una respuesta eficaz y que cubre las necesidades de cogeneración domésticas, es la microcogeneración (Micro Combined Heating and Power). Esta alternativa, basada en la utilización de motores de combustión interna (ICE), supone una opción consolidada con elevadas eficiencias eléctricas y un alto respeto medioambiental con bajas emisiones, bajos niveles de vibración y ruido que, además, posibilita la utilización de diferentes combustibles.

El principal objetivo de este estudio es el análisis de las prestaciones del prototipo propuesto basado en un motor de combustión interna adaptado que utiliza como combustible gas, estando dicho motor conectado a un generador eléctrico y a un compresor utilizado por una bomba de calor para la generación de calor y frío. Para ello, se han ensayado diferentes modos de funcionamiento bajo diferentes condiciones, combinando regímenes de giro del motor, y en función del aprovechamiento o no de las diferentes posibilidades ofrecidas por el prototipo: generación en el alternador, aprovechamiento de calor del circuito de refrigeración o de los gases de escape y utilización de la bomba de calor en modo frío o en modo calefacción.

**Palabras clave:** ICE, CCHP, Trigeneración.

## 1. Introducción

Una alternativa técnica y económica a los sistemas de generación de energía tradicionales es la cogeneración. Los estudios han demostrado que los sistemas CHP (Combining Heating and Power) reducen el consumo de energía y la generación de emisiones[1-3]. Los sistemas de microcogeneración, denominados micro-CHP (Micro Combining Heating and Power), que, a los efectos de este estudio se consideran aquellos cuya capacidad de generación es inferior a 1 KWe, presentan altas eficiencias, superiores al 75%, alcanzando, incluso, el 90%.

La mayoría de los sistemas actuales están basados en motores de combustión interna (ICE); en micro turbinas de gas (MGT); motores Stirling (SE) y celdas de combustible (FC).

Algunos equipos disponen de la capacidad de trigeneración a través de la utilización de una bomba de calor, son los denominados CCHP (Combined Cooling, Heating and Power)[4-8], lo que les permite proporcionar frío durante los períodos estivales de altas temperaturas. Los sistemas basados en motores de combustión interna se han mostrado adecuados para su uso doméstico. Disponen de alta eficiencia eléctrica, bajas emisiones, capacidad para utilizar diferentes combustibles, bajo nivel de ruido y un bajo nivel de vibraciones.

Los micro-CCHP (Micro Combined Cooling, Heating and Power) permiten obtener electricidad, ACS (Agua Caliente Sanitaria), calor y frío de manera que son capaces de abastecer las necesidades de una vivienda aislada.

En el presente trabajose ha ensayado, en diferentes escenarios, un prototipo funcional de trigeneración, basado en un motor de combustión interna. El prototipo está diseñado con el objetivo de abastecer una instalación autónoma de pequeña dimensión: una vivienda aislada, una autocaravana, un equipo de emergencias,...

## 2. Características del prototipo propuesto.

El prototipo propuesto está basado en un motor de gasolina Honda GX360, bicilíndrico. A la capacidad de utilizar como combustible gasolina se le ha añadido la capacidad de utilizar gas butano. Esta capacidad resulta especialmente interesante para realizar la comparación con otros sistemas comerciales de producción doméstica de calor. Además, la utilización de gas nos permite reducir la emisión de contaminantes y los costes de mantenimiento.

En la figura 1 se muestra una imagen del prototipo propuesto.



Figura 1: Prototipo ensayado

En el caso de un motor de combustión interna es posible aprovechar tanto el calor que proviene de los gases de escape, como del calor del fluido refrigerante utilizado para mantener una temperatura óptima de trabajo en el bloque. En el montaje propuesto, el aprovechamiento de calor se realiza a través de un tanque de agua que recibe los aportes necesarios a través de una válvula de tres vías.

Para la realización de los ensayos se ha tenido que tener en cuenta el rango de régimen de giro recomendado por el fabricante (que se encuentra entre las 2000 y las 3600 rpm). Como se puede observar en la figura 2, el fabricante recomienda no exceder el 85% de la potencia máxima en el caso de uso continuo.

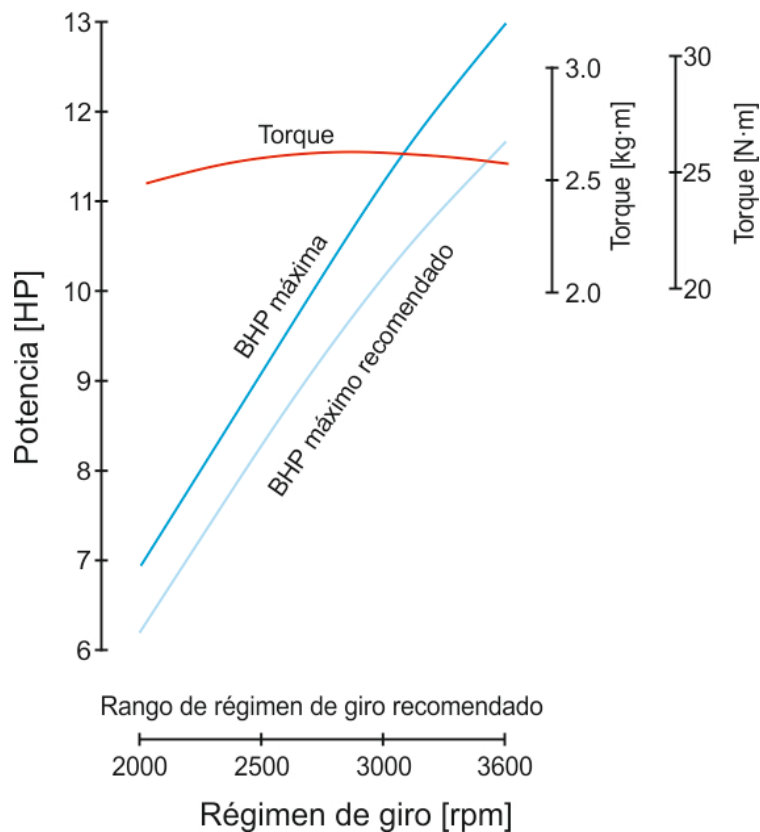


Figura 2: Datos fabricante motor

El compresor SANDEN SD7H15 es el encargado de gobernar el circuito de la bomba de calor. El refrigerante utilizado en dicho circuito es el R-134a. Dado que el compresor y el motor están acoplados de manera directa, el régimen del primero vendrá determinado por el propio régimen de giro del motor.

En el prototipo se han incluido dos fan coils, cada uno con una capacidad de 1kW de potencia, y un intercambiador de placas que permite intercambiar calor / frío con el fluido de trabajo. Mediante una válvula de cuatro vías se consigue intercambiar los modos de operación.

El sistema de adquisición ha sido desarrollado en LabVIEW. Se han medido 29 señales y se han situado diez puntos de actuación. En la figura 3 se puede observar, de manera esquemática, la localización de los diferentes elementos del sistema de adquisición de datos. Adicionalmente, en la tabla 1, se muestran los diferentes elementos utilizados.

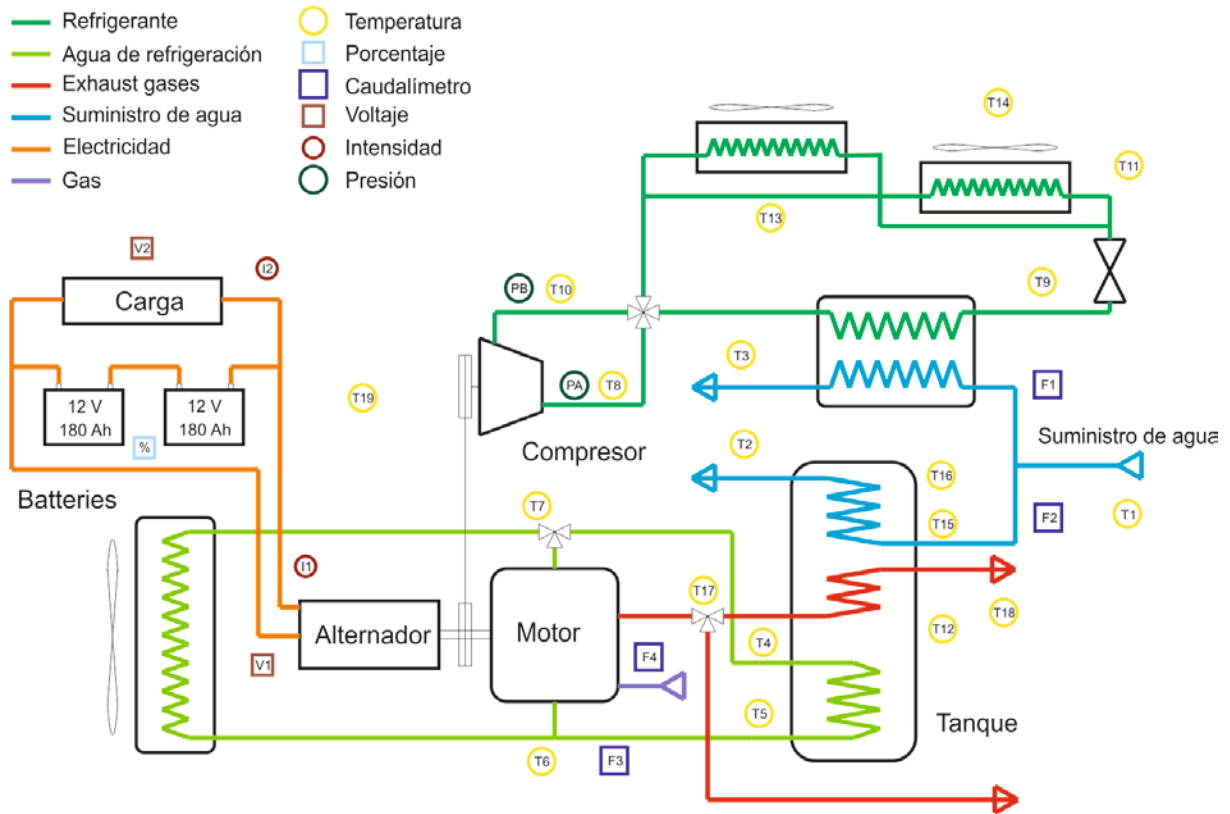


Figura 3: Esquema de la instalación propuesta.

Tabla 6: Elementos de control y adquisición utilizados.

Parámetro	Fabricante	Modelo	Salida-Rango operación	Voltaje	Sensibilidad
Velocidad	Optek	OPB715-Z	-40 °C to +85 °C	5V	0.5 mm
Velocidad	DPF sensors	Taco Flex	20 Hz to 60kHz		20 mV-30V
Temperatura		PT-100	0 °C... 100 Ω 550 °C... 300 Ω		DIN class B
Temperatura	LKM	LKM-214	-40 °C to +85 °C	15-35 Vdc	±0.1°C
Flow	Burkert	DS8030	0 °C to +80 °C	12-36 Vdc	±2.5%
Flow	Burkert	S030	0.5 to 1,200 L/min 0.3 to 10 m/s		±2.5%
Presión	Sick	PBT- RB010SG1SSNAMA0Z	0 to 10 bar 0 °C to +80 °C	8 to 30 Vdc	±0.5%
Presión	Sick	PBT- RB025SG1SSNAMA0Z	0 to 25 bar 0 °C to +80 °C	8 to 30 Vdc	±0.5%
Temperatura	RS	Type K to IEC 584	-40 °C to +1,100 °C		41 μV/°C
Sensor posición	Sick	IME12-04BPSZCOS	-25 °C to +75 °C	10 to 30 Vdc	118.0 μV
Intensidad	Seneca	T201DCH100	0 to 100A	12 to 28 V	0.5%
Voltaje	Data acquisitionboard		0 to 10 V ... 19 to 33 V		
Válvula control	Data acquisitionboard		-3 to 3 V... 0 to 10 V		

### 3. Análisis de prestaciones

Dados los diferentes tipos de consumos necesarios en un sistema de generación doméstica; electricidad, ACS, calor y frío, es necesario contemplar diferentes modos o escenarios de funcionamiento.

En el trabajo presentado se han considerado 24 modos de funcionamiento que se corresponden con las tres velocidades de régimen propuestos y la generación, o no, de los cuatro tipos de energía anteriormente considerados.

Tabla 7: Definición de los 24 modos de funcionamiento descritos.

Baja velocidad	Media velocidad	Alta velocidad	Alternador	Coolant	rec. escape	Gases de	Calor HP	Frío HP
Modo 1	Modo 9	Modo 17	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF
Modo 2	Modo 10	Modo 18	ON	ON	OFF	OFF	OFF	OFF
Modo 3	Modo 11	Modo 19	ON	OFF	ON	OFF	OFF	OFF
Modo 4	Modo 12	Modo 20	ON	ON	ON	OFF	OFF	OFF
Modo 5	Modo 13	Modo 21	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF
Modo 6	Modo 14	Modo 22	ON	OFF	OFF	OFF	OFF	ON
Modo 7	Modo 15	Modo 23	ON	ON	ON	ON	ON	OFF
Modo 8	Modo 16	Modo 24	ON	ON	ON	OFF	OFF	ON

#### 4. Resultados obtenidos

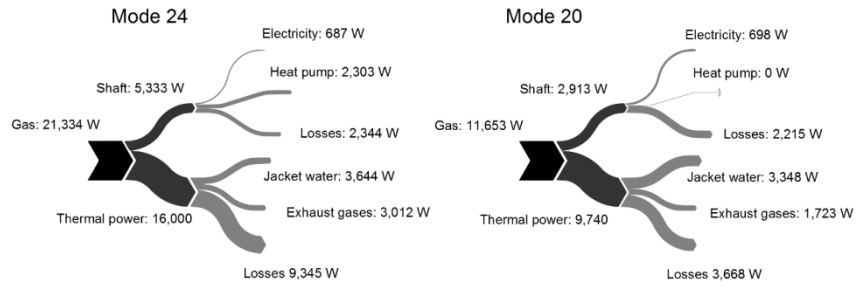
A continuación se muestran algunos de los resultados más representativos obtenidos durante los ensayos.

En primer lugar, en la figura 4 se muestran diagramas de Sankey para exponer los flujos de energía a diferentes regímenes de giro y niveles de carga. Se representan los modos habituales de funcionamiento de los sistemas de trigeneración (producción de frío con la bomba de calor ON y OFF) y se combinan dos regímenes de giro: alta y baja velocidad (4, 20 y 8, 24). De los valores obtenidos, destaca la obtención de valores de potencia eléctrica muy similares en ambos casos. Esta potencia se debería mejorar en regímenes de trabajo altos si el alternador utilizado lo permitiese. También se observa que el consumo de combustible se dispara cuando la bomba de calor está accionada a regímenes de funcionamiento altos, siendo las pérdidas del sistema el doble de las que tenemos a regímenes bajos con el mismo modo de funcionamiento.

En la figura 5 se muestra la eficiencia total del sistema en función del régimen de giro. Como se puede observar las eficiencias de los modos que activan la bomba de calor son mucho mayores a regímenes de giro bajos, mientras que la eficiencia de los modos que únicamente implican cogeneración son similares en todos los modos de funcionamiento.

Tri-generation plant

High speed



Tri-generation plant

Low speed

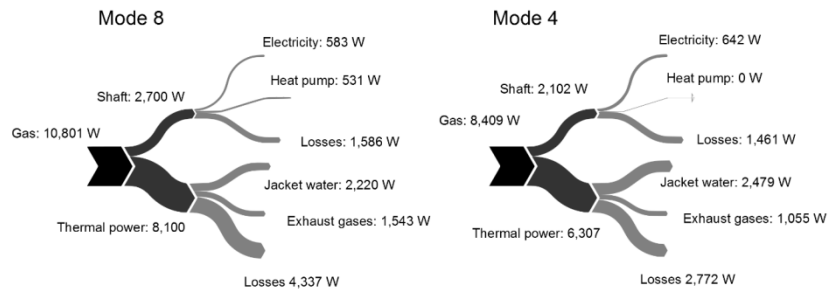


Figura 4: Esquema de la instalación propuesta.

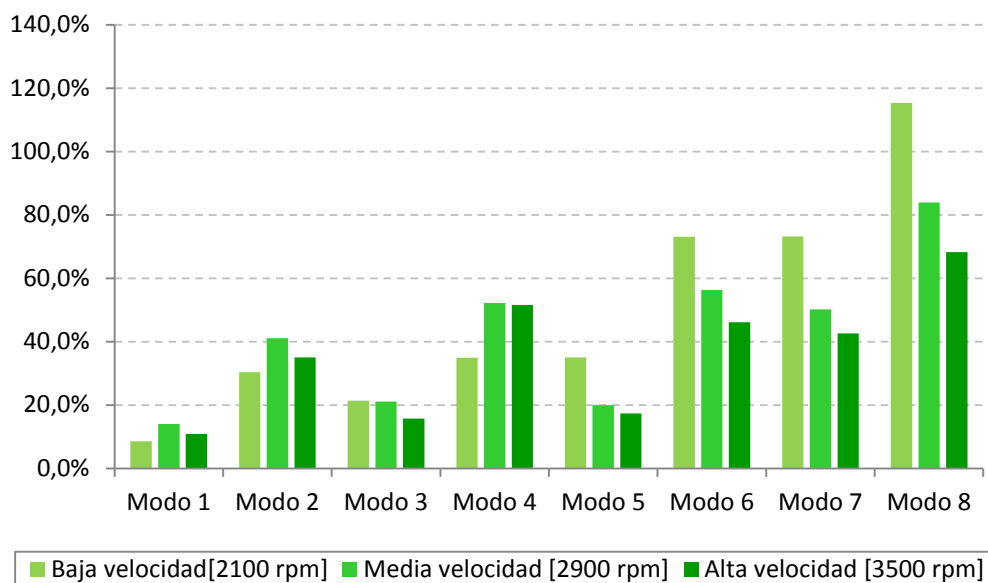


Figura 5: Eficiencia global del sistema.

## 5. Conclusiones y consideraciones finales

Se ha ensayado un sistema micro-CCHP, basado en ICE, en diferentes condiciones de uso. Para ello se han definido previamente los posibles modos de funcionamiento, llegándose a realizar mediciones en los 24 modos resultantes.

De los resultados obtenidos se deduce la conveniencia de trabajar a regímenes bajos cuando la bomba de calor esté accionada. En cambio, cuando se utilice el sistema como un equipo de cogeneración se puede optar por trabajar a regímenes más altos sin afectar a la eficiencia global. Por lo tanto, en estos modos de funcionamiento el régimen de trabajo vendrá determinado por la demanda existente.

De las potencias eléctricas obtenidas se desprende la necesidad de sustituir el alternador, por uno que proporcione mayores potencias a regímenes altos. Esto mejoraría notablemente la eficiencia eléctrica del sistema, y por lo tanto también la eficiencia global.

Tras el estudio del sistema de micro-CCHP propuesto se concluye que los equipos basados en ICE cumplen las expectativas puestas en ellos. Se propone como líneas futuras, la mejora de los rendimientos obtenidos mediante la valoración e implementación de componentes alternativos a los ya existentes.

## 6. Referencias

- [1] A. Campos Celador, A. Erkoreka, K. Martin Escudero, J. Sala, Feasibility of small-scale gas engine-based residential cogeneration in Spain, *Energy Policy*. 39 (6) (2011) 3813-3821.
- [2] M. Feidt, M. Costea, Energy and exergy analysis and optimization of combined heat and power systems. Comparison of various systems, *Energies*. 5 (9) (2012) 3701-3722.



- [3] M.H. Moradi, M. Hajinazari, S. Jamasb, M. Paripour, An energy management system (EMS) strategy for combined heat and power (CHP) systems based on a hybrid optimization method employing fuzzy programming, *Energy*. 49 (2013) 86-101.
- [4] M. Ebrahimi, A. Keshavarz, Sizing the prime mover of a residential micro-combined cooling heating and power (CCHP) system by multi-criteria sizing method for different climates, *Energy*. 54 (2013) 291-301.
- [5] M. Jradi, S. Riffat, Tri-generation systems: Energy policies, prime movers, cooling technologies, configurations and operation strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 32 (2014) 396-415.
- [6] D. Sonar, S. Soni, D. Sharma, Micro-trigeneration for energy sustainability: Technologies, tools and trends, *Applied Thermal Engineering*. (In Press) (2013). DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.11.037
- [7] J. Wang, J. Wu, C. Zheng, Analysis of tri-generation system in combined cooling and heating mode, *Energy and Buildings*. 72 (2014) 353-360.
- [8] C. Zheng, J. Wu, X. Zhai, A novel operation strategy for CCHP systems based on minimum distance, *Applied Energy*. 128 (2014) 325-335.