

# HIBRIDACIÓN DE UNA MICROTURBINA DE GAS OPERANDO EN POLIGENERACIÓN CON CICLO DE RANKINE ORGÁNICO.

**Autor: Lizaranzu Perinat, Ignacio**

Director: Linares Hurtado, José Ignacio

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

En este proyecto se evalúa, tanto desde un punto de vista energético como económico, la hibridación de un esquema básico de microturbina de gas, mediante la adición de sistemas de cogeneración-trigeneración y/o ciclo de Rankine orgánico. Las microturbinas de gas son dispositivos de generación distribuida con costes de instalación elevados (entre 2636 y 1769 \$/kW para potencias que van de 30 a 100kW) por lo que se hace necesario algún tipo de modificación para hacer que sean suficientemente atractivas para el usuario.

Un primer paso del proyecto consiste en modelar el ciclo termodinámico básico que sigue una microturbina, obteniendo así los parámetros nominales; hay 2 tipos de ciclos básicos: Brayton o Brayton regenerativo, que se modelarán a partir de la bibliografía disponible. Una vez se tienen los modelos (implantados en el programa informático EES) termodinámicos de estas configuraciones hay que proceder a integrar los dispositivos que conformarán la hibridación. Se han contemplado dos posibles hibridaciones para cada uno de los ciclos básicos: cogeneración/trigeneración y/o ciclo de Rankine orgánico configurados de tal manera que aprovechen los calores residuales de los humos de escape para generar carga calorífica y/o potencia eléctrica.

De entre todas las configuraciones posibles se han elegido las que resultan viables desde el punto de vista económico, para así proceder a analizar cada una de un modo detallado. Como primera opción está la configuración de ciclo básico sin regeneración con cogeneración/trigeneración, que consiste en un aprovechamiento a través de una caldera de recuperación de los humos de escape para generar energía térmica de frío o calor. La segunda consiste en el mismo ciclo básico pero con cogeneración y ORC, de tal manera que en una primera etapa se absorbe parte del calor de los humos para generar calor y en una segunda se introducen en una caldera

de recuperación donde se le aporta calor a un fluido orgánico que realiza un ciclo de Rankine; el fluido orgánico elegido es el R245fa debido a que sus propiedades son las que mejor se adaptan al recurso disponible. El problema que presenta esta segunda configuración es que se precisa de la instalación de varias microturbinas de gas trabajando en paralelo con un mismo ciclo ORC para que resulte económicamente viable, mientras que en el caso de sólo cogeneración instalar una unidad de 100kW resulta rentable. En ambas configuraciones la potencia del ciclo de alta es determinante, debido a que conforme aumenta la potencia así lo hace el rendimiento eléctrico y además disminuye la inversión por unidad de potencia instalada, por lo que se debe de intentar instalar unidades de potencia lo más alta posible.

Para unidades de 100kW los resultados muestran un rendimiento global de la instalación de entre un 70% y un 90% (dependiendo de la temperatura de salida de humos) en el caso sin ORC, mientras que si se incluye el ORC el rendimiento eléctrico de la instalación pasa de un 17,4% a un 22,4% y un rendimiento global del 71%, con un aumento de producción eléctrica del 30%.

Si se plantea la instalación de “n” unidades de ambas configuraciones se obtiene lo que se refleja en las figuras 1 y 2, donde se observa el efecto tanto en la inversión y producción de energía como en el coste de la electricidad producida y en la TIR del tipo de ciclo y del número de dispositivos instalados.

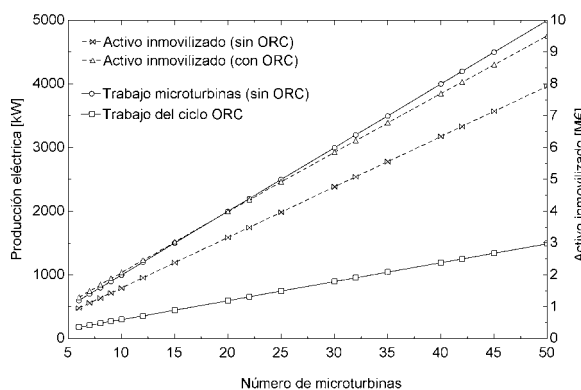


Fig. 1 Inversiones y producción eléctrica con y sin ORC con unidades de 100 kW.

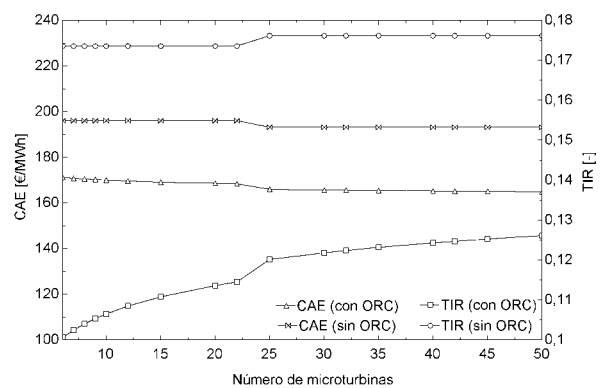


Fig. 2 Coste de generación de electricidad y TIR con y sin ORC con unidades de 100kW.

El incremento del 30% en la producción de electricidad al introducir el ciclo ORC supone un incremento en la inversión económica de un 19 %. El coste de producción de la electricidad en cambio se reduce en un 15%, que dando de todos modos muy lejos de la tarifa de venta de la electricidad producida (que se sitúa en un valor nivelado a 10 años de 117,42€/MWh).

Al contrario de lo que ocurre con el coste de la producción eléctrica la tasa interna de retorno es entre 5 y 7 puntos inferior en el caso de instalar ORC debido a la influencia que tiene el uso del calor extraído en ambos casos que es un 45% superior en el caso de no utilizar ciclo orgánico. Como se puede ver la influencia del calor producido a la hora de alcanzar cierta rentabilidad es un factor decisivo. No obstante esta diferencia en la TIR se reduce conforme aumentan las unidades instaladas.

El ratio electricidad-calor (RWQ) también está muy diferenciado en ambas configuraciones; en el caso de utilizar sólo cogeneración éste se sitúa entorno al 25% mientras que en el caso de incluir ORC éste sube hasta un 45%; en el primer caso la producción de calor es mucho más significativa que la de electricidad lo cual hace que sólo sea viable su aplicación a instalaciones con una gran demanda de energía calorífica, mientras que el segundo caso ofrece una producción más pareja de electricidad y calor lo cual se adapta mejor a casos más generales.

En cuanto a las emisiones contaminantes por unidad de potencia eléctrica, como era de esperar mejoran al añadir el ciclo orgánico, de tal manera que pasan de 300,5 g/MWh en ciclo básico y ciclo básico con cogeneración a 261,4 g/MWh, lo que significa una reducción del 15%.

Por último si en vez de cogeneración se contempla la posibilidad de trigeneración mediante el uso de una instalación de frío por absorción, los números económicos aumentan a pesar de que la inversión inicial sea algo mayor. De tal manera que para una microturbina de 100kW con trigeneración el VAN aumenta un 33% y para 10 unidades de la misma potencia con cogeneración y ORC se incrementa en un 30%, ambos incrementos respecto a las mismas configuraciones en cogeneración.

# ORGANIC RANKINE CYCLE FOR ENERGY RECOVERY FROM A MICROTURBINE INTO TRIGENERATION.

**Author: Lizaranzu Perinat, Ignacio**

Director: Linares Hurtado, José Ignacio

Entidad colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **SUMMARY PROJECT**

In this project it is assessed, technological and economically, the modification of a basic cycle from a gas microturbine, with the addition of CHP-trigeneration systems and/or organic Rankine cycle. Microturbines are systems for distributed energy generation that involve high installed costs (from 2636 to 1769 \$/kW for a nominal capacity between 30 and 100kW) so it is necessary to make some kind of modification on its cycle to make them attractive enough for potential users.

The first step of this project is to build a model according to the thermodynamic basic cycle in which the microturbine operates, so it is possible to find out the nominal parameters of this cycle, there are two different type of basic cycles: Brayton o recuperated Brayton, that will be modeled using several manufacturers' data. Once both basic thermodynamic models are fitted (implemented on EES software) it is possible to integrate the different devices that will complete the new cycles. Two different cases have been studied for each of the basic cycles: CHP/trigeneration and/or organic Rankine Cycle (ORC) that will use the heat from the exhaust to produce heat and/or power.

Among all the possibilities that have been studied, only the two of them that were economically feasible have been chosen so they could be analyzed more thoroughly. The first of this two models is the combined heat and power (CHP) or trigeneration with a non-recuperated basic cycle that involves the use of a Heat Recovery Steam Generator (HRSG) that will take advantage of the exhaust coming out of the microturbine to produce either heat or cold air. The second possibility will involve the use of the same basic cycle (non-recuperated) and CHP with an ORC right after the HRSG, so that a part of the heat that is carried by the exhaust will be used to produce heat and the rest will be used to run a Rankine cycle. This Rankine Cycle is run by an organic fluid that will be heated in another HRSG; the fluid that

has been chosen is the R245fa because of its great properties that fit perfectly to the available resources. But this configuration has a problem, it is necessary to place several microturbines working in parallel with one only ORC to make the whole system profitable, while the system including only CHP shows up good results with one single 100kW microturbine working alone. In both cases the power of the microturbine or microturbines is critical, because while it increases so does the electrical efficiency and it also means that the unitary installed cost decreases, so it is recommended, if possible, to install microturbines with a high electrical capacity.

With these units of 100kW the total efficiency of the system is within the range from 70% to 90% (depending on the exhaust) while working without an ORC, and if the use of this organic cycle is considered the electrical efficiency rises up from 17,4% to 22,4% and the total efficiency appears to be 71%, with an increase on the production of electric power up to 30%.

If the installation of “n” microturbines is studied in both models, there are several interesting conclusions that are shown in figures 1 and 2; there the effect in the total investment, the energy rate, the costs of producing electricity and the internal rate of return (IRR) depends on the type of cycle and the number of units installed.

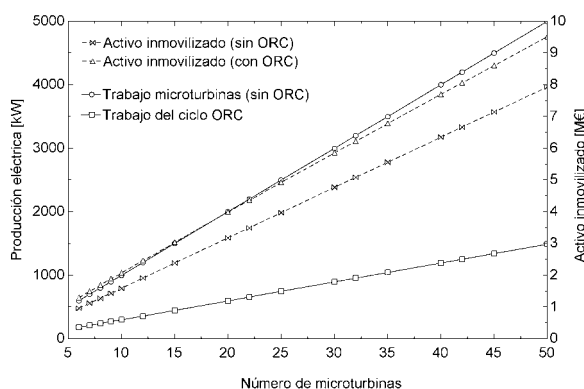


Fig. 1 Investment and power generation with and without ORC for 100kW microturbines.

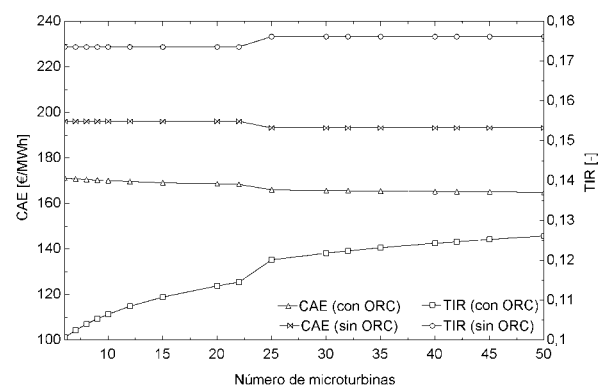


Fig. 2 Costs of producing electricity and IRR with or without ORC for 100kW microturbines.

The 30% increase of the power production once the ORC is installed brings along a 19% increase of the installed costs. Even though the costs of the produced electricity decrease 15%, that is still much higher than the selling rate of the produced electricity . (the levelized cost for ten years, which is the estimated economic life for microturbines, is 117,42€/MWh).

On the other side, the IRR decreases between 5 and 7 points if installing an ORC because of the influence on the use of the heat obtained with CHP; in case of not using the organic cycle this heat is 45% higher. This fact shows up how important the amount of heat obtained is, it will be a key thing. But these difference between using or not the cycle is less important as the number of microturbines grows.

The ratio power-heat (RWQ) is also very different in both systems; in case of using only CHP it is situated around 25%, while in case of using also the organic Rankine cycle it rises up to 45%; On the first model the heat production is a lot more significant than the power itself, this fact makes that it is only feasible for installations that have a great heat demand, while the second model presents a much more balanced heat and power rate; this feature will make it more flexible for a wider range of types of demand.

The emissions get reduced once the ORC is added to the cycle, as it was expected. The amount of emissions in case of basic cycle and CHP are 300,5 g/MWh and they get reduced to 261,4 g/MWh, this means a 15% reduction.

Finally if, besides CHP, the trigeneration is considered by adding absorption cooling equipment the economic figures are better, even tough the initial installation costs are higher. So that for one single 100kW microturbine the net present value (NPV) increases 33% and in case of studying 10 units working with CHP and ORC this same figure increases around 30%; both percentages are considering the same models with CHP.