

# PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN 2021

## INFORME DEL PROYECTO REF. SV-21-GIJON-1-05

### 1. Datos del proyecto

**Título:** Análisis exergético del Ciclo Higroscópico y posibilidades de mejora

**Fechas inicial y final del proyecto:** 11/10/2021-31/12/2021

**Investigador/a Principal:** Antonio José Gutiérrez Trashorras

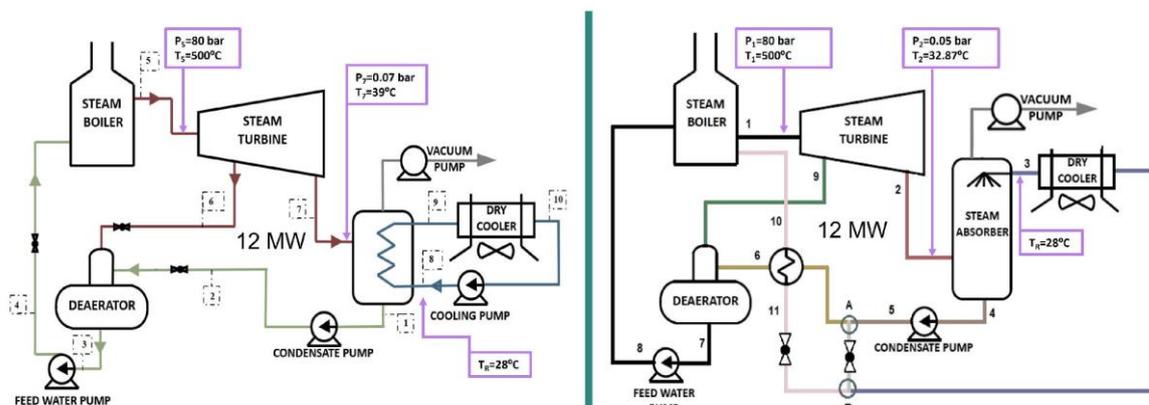
**Otros investigadores:** Juan Manuel González-Caballín Sánchez; María José Suárez López ; Andrés Meana Fernández; Juan Carlos Ríos Fernández; Ignacio Álvarez Sánchez; Guillermo Laine Cuervo

**Personal contratado:** Malena Potesta González

**Fechas inicial y final de contratación:** 11/10/2021-31/12/2021

**Empresas o instituciones colaboradoras:** IMASA, INGENIERÍA Y PROYECTOS, S.A.

### 2. Resumen Gráfico



Comparación HCT (Hygroscopic Cycle Technology) con Rankine regenerativo equivalente  
(potencia neta y temperatura de refrigeración idénticas)  
El HCT  **aumenta el rendimiento térmico y el exergético**  en más del 0,3% y 0,5% respectivamente

### 3. Memoria descriptiva del proyecto

#### 3.1 Resumen ejecutivo

Este proyecto se centra en el análisis exergético de la Tecnología de Ciclo Higroscópico (con siglas en inglés HCT). Dicha tecnología es muy innovadora dentro del campo de la Ingeniería Energética y, más concretamente, de la generación eléctrica y cogeneración mediante ciclos de potencia Rankine mejorados. La principal diferencia con el Ciclo Rankine clásico radica en que la HCT utiliza las propiedades higroscópicas de su fluido de trabajo para realizar la condensación mediante el fenómeno

de absorción y supone una mejora en el rendimiento del ciclo, así como una disminución de los costes de la planta. Se trata de un ciclo propietario de la empresa IMASA que tiene apenas unos años de madurez y se desarrolló en Gijón contando con la colaboración del equipo investigador de este proyecto. El HCT se basa en un novedoso ciclo de potencia, similar al Ciclo Rankine, caracterizado por trabajar con compuestos higroscópicos, que optimizan la condensación del vapor de escape de la turbina. Por otro lado, este sistema no precisa de agua para su refrigeración, evitando el consumo de agua de la planta. Este hecho constituye otra importante ventaja desde el punto de vista medioambiental y minimiza el consumo de un recurso que resulta ser escaso en muchas zonas del planeta. HCT no se limita a la conversión de calor para bajas temperaturas y es potencialmente aplicable a cualquier rango de generación de potencia. La metodología de este proyecto consiste en el desarrollo de un modelo matemático mediante el software Matlab o similar, que permita realizar el análisis exergético del HCT. Los resultados obtenidos mediante el análisis citado permiten proponer mejoras en el ciclo, tanto de eficiencia energética como de tipo medioambiental. El rendimiento exergético aumenta entre un 0,5% y un 1,5% respecto al ciclo Rankine clásico, dependiendo de las condiciones ambientales y las propiedades termodinámicas de la disolución con componentes higroscópicos. La caldera es, con diferencia, el equipo con mayor porcentaje de destrucción de exergía y, por tanto, es el elemento cuyo diseño ha de ser desarrollado en mayor profundidad. No obstante, la destrucción de exergía en la caldera es mucho menor que la correspondiente al ciclo Rankine tradicional.

Con este proyecto se espera contribuir al desarrollo de plantas de producción de potencia, o en general, aquellos que incluyan procesos en los que es necesario condensar un vapor, más eficientes y competitivos. Esta línea de actuación permitirá que los resultados de la investigación, por un lado, se reflejen en el desempeño financiero de la empresa colaboradora del proyecto y, por otro, se transfieran a la red de clientes y suministradores de esta. Parte de estos clientes y suministradores (algunos potenciales) son empresas ubicadas en Gijón, las cuales se pueden beneficiar de la tecnología de Ciclo Higroscópico que es aplicable a cualquier proceso en el que se necesite condensar un vapor, proporcionando un sistema más optimizado, dada su mayor eficiencia y mejores prestaciones, además de los beneficios medioambientales derivados. Se trata de una tecnología asturiana, que se desarrolló en Gijón y que tiene unas posibilidades de proyección muy importantes a nivel mundial. Por otro lado, las consecuencias de la aplicación de esta tecnología en empresas de Gijón, permitirá que tanto empresas productoras como suministradores de los equipos y materiales necesarios para el funcionamiento del ciclo sean más competitivas y se favorezca la creación de nuevos puestos de trabajo, contribuyendo a incrementar la red empresarial de Gijón. Por estos motivos, se puede decir que el proyecto propuesto fomenta el desarrollo tecnológico avanzado, a la vez que se potencia el crecimiento social en torno a la red de empresas y la Universidad en Gijón.

### 3.1.1. Introducción

En la actualidad, el uso de combustibles fósiles sigue constituyendo el 80% de la energía primaria utilizada por las centrales eléctricas. Si se tiene en cuenta la limitación de los recursos naturales y las desastrosas consecuencias que se derivan del calentamiento global, se evidencian las necesidades de mejorar los sistemas actuales de producción de energía eléctrica. El ciclo básico de producción de potencia es el Ciclo Rankine. El Ciclo Higroscópico incorpora los principios físicos y químicos de las máquinas de absorción con el fin de obtener un mayor rendimiento y mejores condiciones de enfriamiento que el Ciclo de Rankine. Los elementos diferenciadores y más importantes del HCT son el absorbedor y el sistema de enfriamiento asociado [1]. Después de pasar por la turbina, el vapor es condensado por medio del proceso químico de absorción dentro del absorbedor. La corriente de reflujo de refrigeración proporcionada por el sistema de refrigeración también se introduce en el absorbedor. Esa corriente es una solución de compuestos higroscópicos en agua, entra en contacto con el vapor puro del absorbedor y produce la condensación de vapor por absorción. Esto permite independizar el funcionamiento del ciclo de la

temperatura del foco frío, de manera que la planta es capaz de funcionar incluso bajo condiciones de temperatura ambiental muy elevada (superiores a los 45°C). En consecuencia, el Ciclo higroscópico permite mejorar la eficiencia eléctrica del sistema [2] y reducir el coste de inversión, resultando sistemas económicamente más viables. De hecho, ya existen varias plantas reales de generación eléctrica en las que se ha implantado esta tecnología, entre otras, varias plantas de Oleícola el Tejar (sur de España) [2]. Hasta ahora, sólo se han realizado unas pocas investigaciones [1-5] sobre el HCT debido a su reciente desarrollo y no existen referencias de análisis exergéticos del ciclo en la literatura. La instalación de la primera planta de prueba del Ciclo Higroscópico se terminó en 2015. Esta planta se ubica en Gijón (España) y es propiedad de IMASA, INGENIERÍA Y PROYECTOS S.A. [6]. Se trata de tecnología de origen asturiano y que ya se está implementando en distintas plantas en Asturias y en España. También han mostrado gran interés por la tecnología diversas empresas ubicadas en diferentes países del mundo, sobre todo aquellos con climas muy cálidos y en los que el agua es un bien escaso. El conocimiento detallado del comportamiento del ciclo desde el punto de vista exergético permitirá detectar los elementos con mayores pérdidas de exergía y ayudará a identificar aquellos que son más críticos desde la perspectiva de la pérdida de energía útil y, por tanto, en los que se deberá realizar un mayor esfuerzo por depurar su diseño. Este análisis también permitirá detectar las fuentes de mayor anergía del sistema, proporcionando información sobre cómo mejorar los procesos que tienen lugar en cada componente. De forma inmediata, se producirá una transferencia de tecnología entre la empresa y la universidad de Oviedo, reforzando la colaboración entre la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón y las empresas ubicadas en la localidad y en el territorio nacional. A medio plazo, las repercusiones de la implantación de la tecnología a nivel mundial supondrán un avance en el campo de la eficiencia energética y de la generación sostenible.

### 3.1.2. Metodología

La metodología de este proyecto se basa en el desarrollo de un modelo analítico realizado el software EES (Engineering Equation Solver) en que se implementarán las ecuaciones matemáticas necesarias para el cálculo de todas las variables que intervienen en el Ciclo Higroscópico, así como los consumos y potencias asociadas. Para ello es necesario disponer de relaciones empíricas que tengan en cuenta el comportamiento de los materiales higroscópicos que se utilizan, así como de las aminas filmantes y neutralizantes que evitan la corrosión. Estas relaciones han sido obtenidas anteriormente por el equipo investigador y la empresa colaboradora. En el modelo se incluirán también las ecuaciones correspondientes al análisis exergético de una planta con la tecnología de Ciclo Higroscópico de forma paramétrica, de manera que permita el análisis de plantas de diferente tamaño.

El contraste experimental y validación del modelo se llevará a cabo mediante la comparación de los resultados obtenidos mediante el modelo con datos reales de planta proporcionados por la empresa colaboradora. Con los modelos desarrollados, se realiza un análisis de sensibilidad variando distintos parámetros que son vitales para la tecnología y se comparan los resultados con los que proporciona el ciclo Rankine. Las variables más importantes a tener en cuenta son: las condiciones ambientales, la potencia de funcionamiento de la planta, las presiones de caldera y de salida de la turbina (presión mínima), las condiciones de entrada a la turbina y la temperatura de refrigeración.

Finalmente, los resultados obtenidos mediante el análisis citado se utilizarán para proponer mejoras en los equipos y procesos del ciclo, tanto en el ámbito de la eficiencia energética como de tipo medioambiental.

## 3.2 Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

El objetivo del proyecto es generar conocimiento científico-técnico sobre las posibilidades de mejora del Ciclo Higroscópico desde el punto de vista de la eficiencia energética y mejora medioambiental. Para ello se desarrolla un modelo matemático que tenga en cuenta los procesos que tiene lugar en los elementos

integrantes del ciclo. Posteriormente, se realiza un análisis exergético del ciclo con el fin de detectar los elementos y procesos con mayores pérdidas de exergía y cuyo diseño deberá mejorarse.

Objetivos específicos:

- Revisión bibliográfica sobre los sistemas de mejora de eficiencia de ciclos de potencia y en particular, los compatibles con el Ciclo Higroscópico, así como sus efectos medioambientales. (100%)
- Desarrollo de un modelo matemático del Ciclo Higroscópico (100%).
- Contraste del modelo con datos experimentales (100%).
- Realización del análisis exergético del ciclo (100%).
- Análisis de las posibilidades de mejora de los elementos y procesos que tiene lugar en el ciclo en base al análisis exergético realizado (100%).
- Difusión de la tecnología y de los resultados obtenidos (40%).

### 3.3 Tareas realizadas

Bloque I: Trabajos iniciales

- Tarea 1: Búsqueda de referencias en congresos y revistas científicas para actualización del estado del arte relativas los sistemas de mejora de eficiencia de ciclos de potencia y en particular, los compatibles con el Ciclo Higroscópico, así como sus efectos medioambientales
- Tarea 2: Reuniones con empresa IMASA para el intercambio de información.
- Tarea 3: Implementación de las ecuaciones matemáticas que rigen los procesos que tienen lugar en los elementos del Ciclo Higroscópico

Bloque II: Modelización

- Tarea 4: Desarrollo del modelo matemático del ciclo mediante software adecuado que incorpore las ecuaciones obtenidas en la tarea anterior y que mediante la configuración del ciclo y las ecuaciones y tablas termodinámicas necesarias, permita obtener los valores de las variables de ciclo y las potencias y rendimientos del mismo de forma paramétrica.
- Tarea 5: Validación del modelo mediante contraste con datos reales de planta obtenidas experimentalmente.
- Tarea 6: Incorporación al modelo de las ecuaciones necesarias para la realización del análisis exergético del ciclo y sus elementos.

Bloque III: Resultados

- Tarea 7: Análisis de los resultados obtenidos y propuestas de mejora en base al análisis exergético.
- Tarea 8: Redacción de las conclusiones, de la memoria final del proyecto.

Bloque IV: Difusión de resultados

- Tarea 9: Redacción de artículos para su publicación en congresos internacionales y/o revistas científicas con factor de impacto JCR y participación en actividades de difusión del IUTA y otras.

### 3.4 Resultados obtenidos

1. Los resultados obtenidos mediante el análisis citado permiten proponer mejoras en el ciclo, tanto de eficiencia energética como de tipo medioambiental.
2. El rendimiento exergético aumenta entre un 0,5% y un 1,2% respecto al ciclo Rankine clásico, dependiendo de las condiciones ambientales y las propiedades termodinámicas de la disolución con componentes higroscópicos.
3. La caldera es, con diferencia, el equipo con mayor porcentaje de destrucción de exergía (superior al 40%) y, por tanto, es el elemento cuyo diseño ha de ser desarrollado en mayor profundidad. No obstante, la destrucción de exergía en la caldera es de al menos un 4% menor que la correspondiente al ciclo Rankine tradicional. Esto supone que el consumo de combustible y las emisiones contaminantes se reducen de forma considerable.
4. La tecnología HCT puede funcionar perfectamente con temperaturas ambientales superiores a 40°C mediante refrigeración seca, mientras que para el ciclo Rankine Tradicional es necesario utilizar torres de refrigeración cuando la temperatura ambiente es de ese orden. Para localizaciones con temperaturas ambiente de valores en torno a 45°C, la inclusión de torres de refrigeración no garantiza la correcta refrigeración en el caso del ciclo Rankine, mientras que el HCT permite refrigerar con aerorefrigerantes.
5. Ahorro del 100% del agua de refrigeración. Con el ciclo Higroscópico no es necesario consumir de agua de refrigeración, ya que la refrigeración se realiza por vía seca para las condiciones estudiadas de manera paramétrica, con lo que se ahorra una gran cantidad de agua, recurso de importancia vital y que es escaso en muchas regiones a nivel internacional.

### 3.5 Trabajos o necesidades futuras

Los estudios realizados se han obtenido para bajas concentraciones de compuestos higroscópicos (menores del 1%) y se han obtenido buenos resultados en comparación con los obtenidos para el ciclo Rankine tradicional.

Como trabajos futuros, se plantea el análisis termodinámico y exergético del Ciclo Higroscópico mediante el empleo de un fluido de trabajo con altas concentraciones de sales higroscópicas, para estudiar las posibilidades de mejora de las características del ciclo.

### 3.6 Divulgación de los resultados

Debido a que el proyecto tuvo comienzo en octubre de 2021, no ha sido posible hasta el momento la realización de actividades de divulgación. Se están redactando dos artículos para su posterior envío a Congresos y/o revistas internacionales de impacto.

Los resultados de este proyecto se podrán divulgar mediante la participación en actividades del IUTA como los Desayunos Tecnológicos y Jornadas o conferencias enmarcadas dentro del ámbito de la energía. También se propondrá la impartición de charlas o conferencias en la Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón dentro de sus actividades habituales de divulgación científico-técnica y en las que tenga cabida esta temática dentro del programa de Ayuntamiento de Gijón "Gijón CON Ciencia".

## 4. Memoria económica

### 4.1 Gastos:

CONCEPTO	GASTOS
Personal	3.815 €
Fungibles	-
Amortización	-
TOTAL GASTOS	3.815 €

### 4.2 Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Personal	TOTAL INGRESOS
SV-21-GIJON-1-05	Estudiante con ayuda IUTA a la investigación	3.815 €

## 5. Bibliografía

1. Rubio-Serrano, F. J., Soto-Pérez, F., & Gutiérrez-Trashorras, A. J. Influence of cooling temperature increase in a hygroscopic cycle on the performance of the cooling equipment. *Energy Conversion and Management*, 200, 112080 (2019). <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112080>
2. Rubio-Serrano, F. J., Gutiérrez-Trashorras, A. J., Soto-Pérez, F., Álvarez-Álvarez, E., & Blanco-Marigorta, E. Advantages of incorporating Hygroscopic Cycle Technology to a 12.5-MW biomass power plant. *Applied Thermal Engineering*, 131, 320-327. (2018). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.12.027>
3. Rubio-Serrano, F. J., Soto-Perez, F., & Gutierrez-Trashorras, A. J. Experimental study on the influence of the saline concentration in the electrical performance of a Hygroscopic cycle. *Applied Thermal Engineering*, 165, 114588. (2020). <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114588>
4. Serrano, F. J. R., Pérez, F. S., Trashorras, A. J. G., & Abad, G. A. (2018). Comparison between existing Rankine Cycle refrigeration systems and Hygroscopic Cycle Technology (HCT). *Conference Sustainable Energy, Engineering, Materials and Environment. Polytechnic School of Mieres, University of Oviedo (Mieres, Oviedo, Spain), from the 25th to the 27th July 2018*. [https://www.ciclohygroscopico.com/wp-content/uploads/Paper\\_IRCSEEME\\_HCT\\_IMASA.pdf](https://www.ciclohygroscopico.com/wp-content/uploads/Paper_IRCSEEME_HCT_IMASA.pdf)
5. Rubio, F. J. The Hygroscopic cycle for CSP. *Renewable Energy Focus*, 14(3), 18. (2013). [https://doi.org/10.1016/S1755-0084\(13\)70048-6](https://doi.org/10.1016/S1755-0084(13)70048-6)
6. IMASA, INGENIERÍA y PROYECTOS. S.A. <https://imasa.com/es/portal.do> (ultimo acceso: 19 de diciembre de 2021)