

INFORME DEL PROYECTO REF.SV-24-GIJÓN-1-02

Reducción del impacto visual y la contaminación en penachos mediante la tecnología ciclo Higroscópico (HCT)

Fechas inicial y final del proyecto:

01/07/2024 al 31/12/2024

Investigador/a Principal:

Andrés Meana Fernández

Otros investigadores:

Antonio José Gutiérrez Trashorras, Roberto Martínez Pérez, Juan Manuel González-Caballín Sánchez, María José Suárez López, Maidá María Domat Rodríguez, Enrique González Plaza

Personal contratado:

Alicia Mancisidor Fernández

Fechas inicial y final de contratación:

01/09/2024 al 31/12/2024

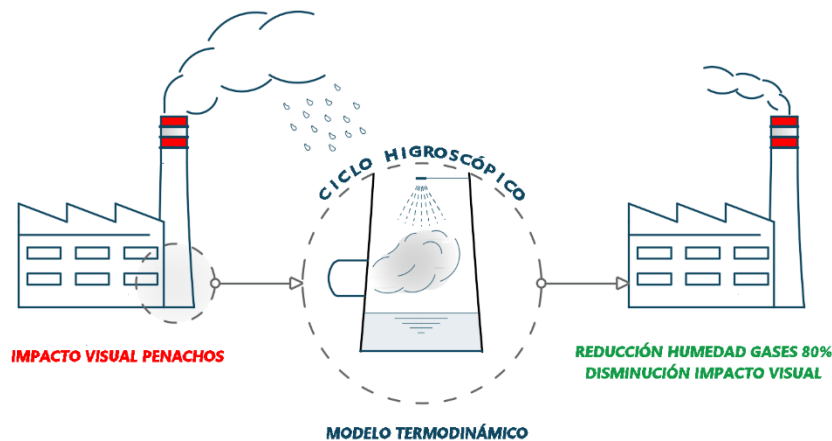
Empresas o instituciones colaboradoras:

IMASA TECHNOLOGIES, S.L.

Redes sociales de investigadores y empresas:

<https://x.com/AndresMeanaFdez>

Resumen Gráfico



Memoria descriptiva del proyecto

1. Resumen ejecutivo

Uno de los retos actuales relativos al desarrollo sostenible de mayor interés es la contaminación atmosférica, en su mayor parte debida a la generación y al uso de energía. La contaminación atmosférica de origen antropogénico suele originarse en chimeneas, en las que se descarga una columna de humos – penacho de contaminantes – a la atmósfera, que se han convertido en una de las mayores amenazas para la salud humana y ambiental. Por este motivo, el estudio de posibles métodos para disminuir el impacto visual y ambiental de los penachos, así como el modelado de su dispersión atmosférica tras la emisión, resultan de gran interés. Otro de los problemas asociados al cambio climático, la posible falta de agua en el futuro, plantea la posibilidad de recuperar el vapor de agua contenido en los penachos.

En este contexto, la empresa colaboradora de este Proyecto, IMASA TECHNOLOGIES; S.L., ha desarrollado una tecnología que permite reducir el impacto visual de los penachos, recuperar agua contenida en el vapor emitido y reducir el particulado en chimeneas mediante un proceso de absorción. La Figura 1 muestra un esquema del funcionamiento de dicha tecnología. La mezcla de gases y vapor que entra en la chimenea se pone en contacto con agua a través de un rociador, condensando parte del vapor. De esta manera se recupera agua condensada que puede ser utilizada para otras aplicaciones. Dicho condensado se genera a una temperatura elevada por el contacto con los humos, por lo cual atraviesa un conjunto de aerorefrigerantes con un doble objetivo: por un lado, el agua se enfría para poder recircular de nuevo al rociador interior de la chimenea; por otro lado, el aire caliente y seco empleado para la refrigeración se mezcla con los humos de la chimenea, reduciendo la humedad relativa y disminuyendo la contaminación visual del penacho.

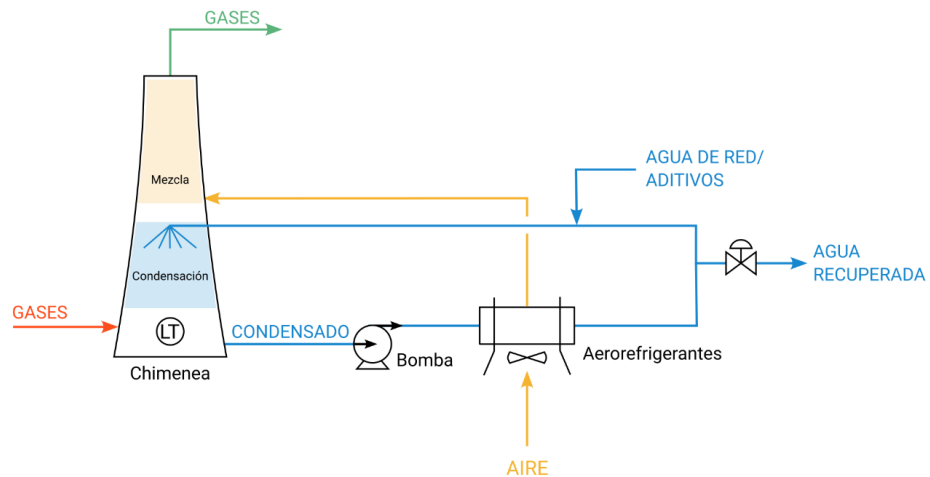


Figura 1. Esquema de la tecnología propuesta.

Aunque los efectos positivos de la tecnología se han comprobado cualitativamente, como se aprecia en la Figura 2, se desconocen las condiciones de operación óptimas para minimizar el impacto visual y maximizar la recuperación de agua de los penachos. Por este motivo, el objetivo general de este proyecto es generar conocimiento científico-técnico que permita disminuir el impacto visual de los penachos en chimeneas, recuperar el agua contenida en los gases circulantes y reducir la emisión de particulado a la atmósfera.



Figura 2. Aspecto visual del penacho antes (izquierda) y después (derecha) de la implantación de la tecnología

La metodología especificada para lograr los objetivos del proyecto se explica a continuación comenzó con una revisión bibliográfica y el asesoramiento de la empresa colaboradora acerca de su tecnología. Posteriormente, se desarrolló un modelo termodinámico de la tecnología empleando el software Engineering Equation Solver (EES), que cuenta con una base de datos de propiedades termodinámicas de múltiples sustancias y se realizó un análisis paramétrico que permitió estudiar las condiciones óptimas del funcionamiento de la tecnología. De manera paralela, se desarrolló un modelo de dispersión de los contaminantes a la atmósfera una vez que estos abandonan la chimenea mediante ecuaciones analíticas.

Actualmente, la empresa dispone de los modelos desarrollados, de manera que puede optimizar las condiciones de funcionamiento de su tecnología y evaluar su impacto de manera rápida y fiable.

2. Objetivos iniciales del proyecto y grado de consecución

Tipo	Objetivo	Imagen	Grado de consecución
Principal	Generar conocimiento científico-técnico que permita disminuir el impacto visual de los penachos en chimeneas, recuperar el agua contenida en los gases circulantes y reducir la emisión de particulado a la atmósfera		85%
Secundario/ Específico	Revisar la bibliografía acerca de las técnicas existentes para la reducción de la contaminación atmosférica en chimeneas, con especial atención a la solución propuesta por la empresa colaboradora		100%
Secundario/ Específico	Revisar los métodos de modelización numérica relativos a la generación de penachos en chimeneas y su mitigación a través de diversas técnicas, así como para la dispersión de los contaminantes.		100%
Secundario/ Específico	Desarrollar un modelo termodinámico de la solución propuesta por la empresa colaboradora. que permita evaluar los efectos de variar las condiciones de funcionamiento en la visibilidad de los penachos, la cantidad de agua recuperada y la cantidad de particulado capturado de la corriente de gases de la chimenea.		100%
Secundario/ Específico	Optimizar las condiciones necesarias para reducir el impacto visual de los penachos, maximizando la recuperación de agua de los gases que circulan por la chimenea y la captura del particulado.		70%
Secundario/ Específico	Desarrollar un modelo de dispersión de los contaminantes a la atmósfera una vez salen de la chimenea.		100%
Secundario/ Específico	Obtener resultados de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.		50%
Secundario/ Específico	Transferir los resultados de investigación a la empresa colaboradora y difundirlos a la comunidad científica y el público general		65%

3. Tareas realizadas:

La Tabla 1 muestra la planificación temporal del proyecto con la relación de fases y tareas realizadas, teniendo en cuenta el comienzo del proyecto en julio de 2024 y la incorporación de la persona contratada a partir de septiembre de 2024.

ID	Descripción	MESES					
		1	2	3	4	5	6
Fase 1	Coordinación del proyecto y revisión bibliográfica						
Tarea 1.1	Reuniones de coordinación con la empresa colaboradora						
Tarea 1.2	Revisión bibliográfica						
Tarea 1.3	Generación de material formativo para la persona contratada						
Tarea 1.4	Formación inicial de la persona contratada						
Fase 2	Desarrollo de los modelos numéricos						
Tarea 2.1	Desarrollo del modelo termodinámico en EES						
Tarea 2.2	Desarrollo del modelo de dispersión de penachos						
Fase 3	Explotación de los modelos y obtención de resultados						
Tarea 3.1	Análisis paramétrico de la generación de penachos						
Tarea 3.2	Optimización de las condiciones de funcionamiento de la tecnología						
Tarea 3.3	Análisis de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera						
Fase 4	Obtención de conclusiones y difusión de los resultados						
Tarea 4.1	Análisis final de los resultados y obtención de conclusiones						
Tarea 4.2	Redacción de la memoria final del proyecto						
Tarea 4.3	Redacción de artículos para su publicación en revistas indexadas y/o congresos científicos						
Tarea 4.4	Participación en actividades y jornadas de difusión						

Tabla 1. Planificación del proyecto.

- **Fase 1: Coordinación del proyecto y revisión bibliográfica**
 - **Tarea 1.1: Reuniones de coordinación con la empresa colaboradora.**

Esta tarea incluye las reuniones de coordinación a realizar con la empresa interesada en el proyecto, para garantizar su buena marcha y el intercambio de la información necesaria. Se han realizado 3 reuniones: en julio, octubre y diciembre.

- **Tarea 1.2: Revisión bibliográfica de las técnicas existentes para la reducción de la contaminación en penachos, los métodos de modelización numérica y de dispersión atmosférica**

Se revisó la bibliografía referente a las técnicas para reducir la contaminación en penachos y los métodos existentes para la modelización de los fenómenos físicos asociados a su generación y dispersión atmosférica.

- **Tarea 1.3: Generación de material formativo para la persona contratada**

Se generó una carpeta con información resumida acerca del proyecto y material formativo (tutoriales) para facilitar la incorporación de la persona contratada al equipo.

- **Tarea 1.4: Formación inicial de la persona contratada**

Se realizó la formación inicial de la persona contratada en las técnicas necesarias para su colaboración en las tareas del proyecto.

- **Fase 2: Desarrollo de los modelos numéricos**

- **Tarea 2.1: Desarrollo del modelo termodinámico en EES de la solución propuesta**

Se desarrolló un modelo termodinámico de la solución propuesta utilizando el software Engineering Equation Solver (EES), utilizando datos proporcionados por la empresa colaboradora.

- **Tarea 2.2: Desarrollo del modelo de dispersión de penachos**

Se desarrolló un modelo de difusión gaussiana de la dispersión de los contaminantes a partir de su salida por la chimenea.

- **Fase 3: Desarrollo de los modelos numéricos**

- **Tarea 3.1: Análisis paramétrico de la generación de penachos**

Se analizó el efecto de diferentes condiciones de funcionamiento de la tecnología en la visibilidad de los penachos y la cantidad de agua recuperada de la corriente de gases de la chimenea.

- **Tarea 3.2: Optimización de las condiciones de funcionamiento de la tecnología**

A partir del análisis paramétrico, se detectaron las condiciones de funcionamiento de la tecnología para maximizar la cantidad de agua recuperada de los gases de escape.

- **Tarea 3.3: Análisis de la dispersión de los contaminantes en la atmósfera**

Utilizando el modelo de dispersión de contaminantes desarrollado, se ha estudiado su dispersión en la atmósfera una vez abandonan la chimenea.

- **Fase 4: Obtención de conclusiones y difusión de los resultados**

- **Tarea 4.1: Análisis final de los resultados y obtención de conclusiones**

Los resultados obtenidos cuentan con el visto bueno de la empresa colaboradora. Se ha logrado modelizar la tecnología propuesta, explicado los fenómenos físicos que hay detrás de la misma y se ha conseguido establecer relaciones entre la cantidad de agua que se desea recuperar de los humos y las condiciones en las que la tecnología debe funcionar.

- **Tarea 4.2: Redacción de la memoria final del proyecto**

Se ha redactado la memoria final del proyecto.

- **Tarea 4.3: Redacción de artículos para su publicación en revistas indexadas y/o congresos científicos**

Se ha comenzado a redactar un artículo que será enviado a una revista indexada de alto impacto a lo largo de 2025 como Applied Thermal Engineering o Journal of Cleaner Production.

- **Tarea 4.4: Participación en actividades y jornadas de difusión**

Parte de los resultados se han expuesto en la Semana de la Ciencia de la Universidad de Oviedo, dentro del ciclo de charlas "Día de la Ciencia en mi Colegio", con la charla titulada "Hablemos de Energía", así como en una charla realizada en el marco de "Concejos con Ciencia". Asimismo, se prevé la exposición de los resultados en la Jornada de Presentación de Proyectos del IUTA 2025 y también se prevé participar en los Desayunos Tecnológicos de 2025.

4. Resultados obtenidos:

Los principales resultados obtenidos se pueden resumir como:

- Se han comprobado los principios físicos que sustentan el funcionamiento de la tecnología propuesta por la empresa colaboradora, así como cuantificado los efectos de la variación de las condiciones de funcionamiento en su efectividad.
- Se ha desarrollado y transferido a la empresa colaboradora un modelo termodinámico que permite calcular las condiciones en las que debe trabajar la tecnología para lograr la reducción de humedad deseada en la corriente de gases para un rango de temperaturas de gases de entrada de 60 a 150°C y humedades relativas de 5 a 40%.
- Se ha logrado reducir la humedad de los gases de salida hasta un 80% respecto al valor de los gases de entrada.
- Se ha desarrollado y transferido a la empresa colaboradora un modelo para el estudio de la dispersión de las emisiones de la chimenea, que será explotado en un futuro.

A continuación, se comentan varios de los resultados más significativos con un mayor nivel de detalle.

Las Figuras 3,4 y 5 muestran la temperatura de salida de los gases de la chimenea en función de la humedad de la corriente de gases entrante y la reducción de la humedad lograda para una temperatura de entrada de la corriente de gases de 90, 120 y 150°C respectivamente.

De manera general, se observa que la temperatura de salida de los gases se reduce a medida que se logra reducir el contenido de humedad. Además, cuanto menor es el contenido de agua en la corriente de gases de entrada, más acusada es la bajada de la temperatura a la salida, alcanzando las menores temperaturas con un 10% de humedad entrante y una reducción de humedad del 80%. Por otro lado, cuanto mayor es la temperatura de los gases de entrada, menor es la temperatura de salida. El motivo de este comportamiento es que para lograr reducir la humedad de la corriente de gases es necesario llevar dicha corriente a condiciones de saturación, las cuales son idénticas ya que se ha considerado el funcionamiento en condiciones de presión atmosférica constantes. Para obtener la misma reducción de humedad con una temperatura de gases mayor, por tanto, es necesario pulverizar una mayor cantidad de agua fría. Esto se traduce en un aumento de los flujos másicos en el intercambiador de calor, y por tanto, en un mayor flujo de aire a la salida del mismo, que, al mezclarse con la corriente de gases, la enfría aún más.

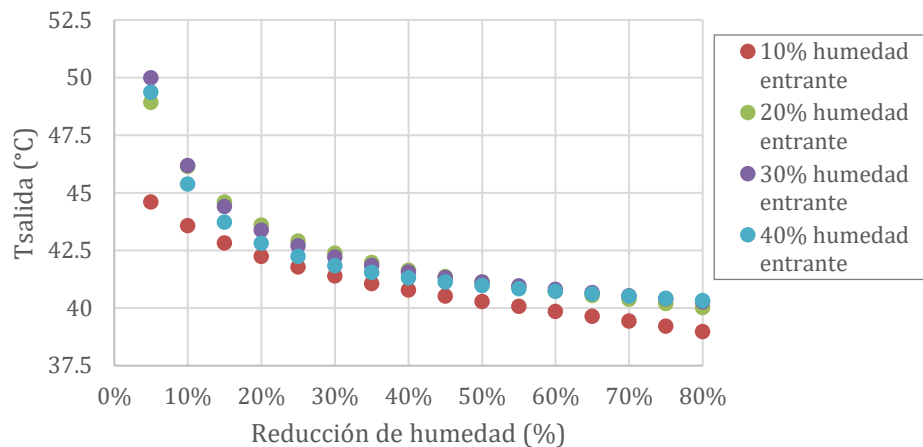


Figura 3. Temperatura de salida de los gases en función de la reducción de humedad lograda y la humedad entrante para una temperatura de entrada de 90°C

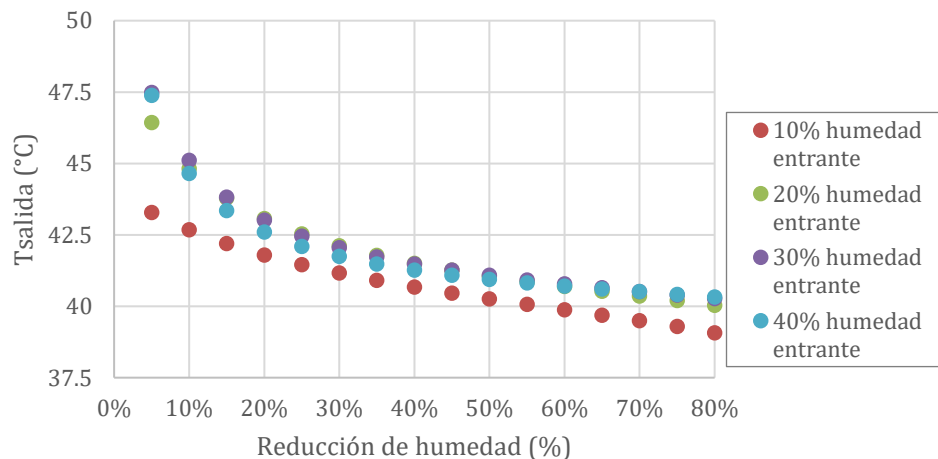


Figura 4. Temperatura de salida de los gases en función de la reducción de humedad lograda y la humedad entrante para una temperatura de entrada de 120°C

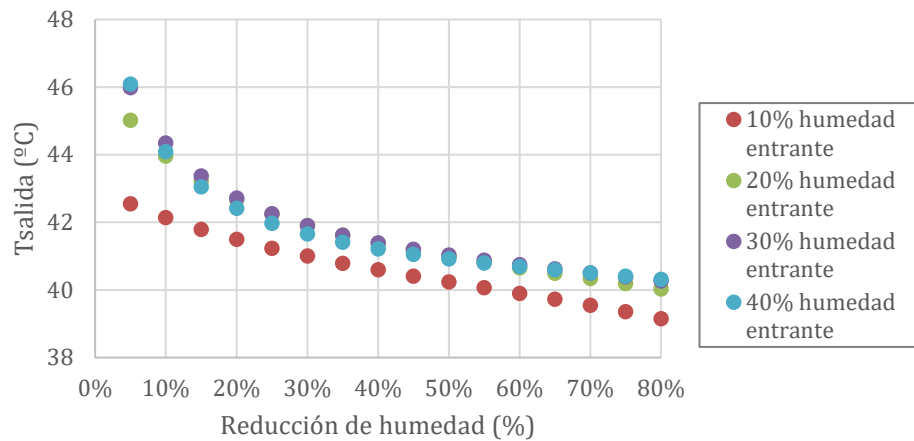


Figura 5. Temperatura de salida de los gases en función de la reducción de humedad lograda y la humedad entrante para una temperatura de entrada de 150°C

De igual manera, ha sido posible calcular la cantidad de agua recuperada del penacho que dejará de ser visible, produciendo impacto visual. La Figura 6 muestra un ejemplo para 90°C de temperatura de los gases de entrada. Se puede observar que es posible evitar la emisión de hasta prácticamente 7 kg/s de agua cuando la humedad de entrada es de un 40%.

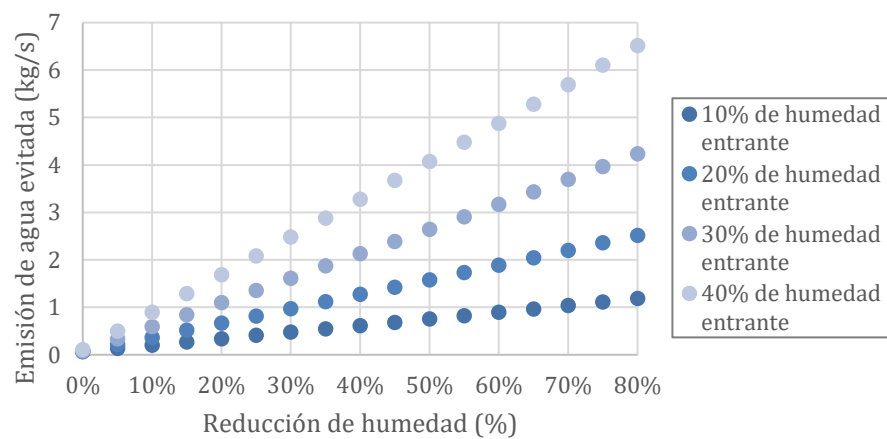


Figura 6. Emisión de agua evitada en función de la reducción de humedad lograda y la humedad entrante para una temperatura de entrada de 90°C

Finalmente, se ha estimado el consumo de potencia de los aerorefrigerantes necesarios para refrigerar el agua recuperada. Dicha potencia aumenta con la cantidad de agua recuperada, así como con la humedad contenida en los gases de entrada. En la Figura 7, para el caso de 90°C de temperatura de entrada de los gases, se observa que su valor máximo está por debajo de los 80 kW.

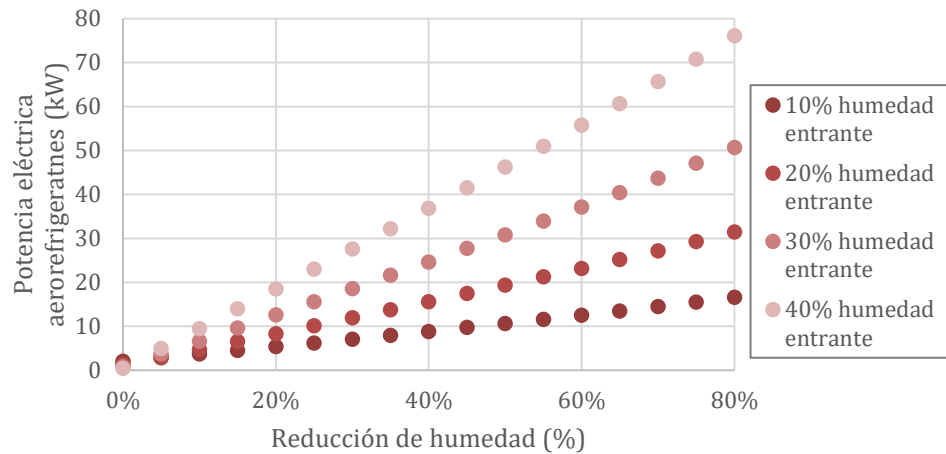


Figura 7. Potencia eléctrica de los aerorefrigerantes en función de la reducción de humedad lograda y la humedad entrante para una temperatura de entrada de 90°C

5. Trabajos o necesidades futuras

En el futuro próximo, será necesario profundizar en la evaluación de la dispersión de los contaminantes de manera más exhaustiva a partir del modelo desarrollado. Otra línea de trabajo posterior podría ser la evaluación económica de la tecnología, así como su impacto mediomambiental. Se espera obtener el coste de cada kg de agua recuperado, así como la reducción en los indicadores de impacto ambiental que permite la implantación de esta tecnología.

6. Divulgación de los resultados

Parte de los resultados ya se han divulgado en la Semana de la Ciencia de la Universidad de Oviedo, dentro del ciclo de charlas "Día de la Ciencia en mi Colegio", con la charla titulada "Hablemos de Energía", así como en una charla realizada en el marco de "Concejos con Ciencia". Asimismo, se prevé la exposición de los resultados en la Jornada de Presentación de Proyectos del IUTA 2025 y también se prevé participar en los Desayunos Tecnológicos de 2025.

Memoria económica:

1. Gastos:

Concepto	Gasto
Personal (IUTA)	3.700 €
Fungibles	0 €
Amortización	0 €
Otros (Desplazamientos, Inscripciones a Congresos, etc)	0 €
TOTAL GASTOS	3.700 €

2. Ingresos:

Entidad/Empresa financiadora Ref. Proyecto/Contrato	Concepto	Ingreso
IUTA	Ayuda IUTA: Contratación de personal	3.700 €
Otras entidades / empresas financiadoras		0 €
Financiación propia		0 €
TOTAL INGRESOS		3.700 €

Bibliografía:

- [1] Hannun, R.M.; Abdul Razzaq, A.H. (2022). Air Pollution Resulted from Coal, Oil and Gas Firing in Thermal Power Plants and Treatment: A Review. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 1002, 012008. DOI: 10.1088/1755-1315/1002/1/012008.
- [2] Zhang, Y.; Wang, J. (2020). Numerical simulation study on the influence of power plant flue gas factors on the formation of white wet plume of flue gas. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 615, 012076. DOI: 10.1088/1755-1315/615/1/012076.
- [3] Li, S.; Flynn, M.R. (2021). Cooling tower plume abatement and plume modeling: a review. Environmental Fluid Mechanics 21: 521-59. DOI: 10.1007/s10652-021-09790-w.
- [4] Zargar, A.; Kodkani, A.; Vickers, B.; Flynn, M.R.; Secanell, M. (2023). A hybrid cooling tower model for plume abatement and performance analysis. Applied Thermal Engineering 219, 119593. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2022.119593.
- [5] IMATECH. IMASA TECHNOLOGIES. Disponible en <https://imasatechnologies.com/> (accedido en 02/12/2024).
- [6] Moran, Michael J., Howard N. Shapiro, Daisie D. Boettner, and Margaret B. Bailey. 2014. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. New York, NY: John Wiley & Sons