

(04-022) - Predictive model of condensate water recovery from HVAC for a sustainable hydroponic integration on buildings

Pérez López, Antonio ¹; Navarrete De Gálvez, Enrique ²; Perera Mohamed, Shiran ²; Meco Menéndez, Raquel ³; Franquelo Soler, Juan ²

¹ Alumno UMA, ² UMA, ³ Alumna UMA

The problem with drought worsens every year, making water an increasingly scarce resource. Currently, in the vast majority of buildings, the by-product of water generated in the air conditioning process is discharged. To grasp the magnitude of this loss, for every kilowatt (KW) of power, up to 1-2 litres of water can be generated per hour. Considering the enormous cooling power installed in buildings, the production of this condensate is significant.

This water, as product of condensation, is distilled. This study proposes the possibility of using this water in an intelligent hydroponic system integrated into the building, which improves temperature, thermal inertia of the building, air quality, noise insulation, and aesthetics, in addition to water savings.

The modular prediction system created in this study is based on air and equipment data to measure the amount of water produced, using psychrometric procedures. This predictive model is applicable both in the preliminary sizing phase of the system and for error detection in the already installed system, by comparing measured water flows against estimated ones.

Keywords: Condensate; predictive; water; hydroponics; HVAC; building

Modelo predictivo de recuperación de agua de condensado de sistemas HVAC para integración de cultivo hidropónico sostenible en edificios

El problema con la sequía se agrava cada año, convirtiéndose el agua en un bien cada vez más escaso. Actualmente, en la gran mayoría de edificios, el subproducto de agua generada en el proceso de climatización es enviada a desagüe. Para entender la magnitud de esta pérdida, por cada kilovatio (KW) de potencia, se puede generar, por hora, hasta 1-2 litros de agua. Teniendo en cuenta la enorme potencia de refrigeración instalada en edificios, la producción de este condensado es notoria.

Esta agua, como producto de condensación, se encuentra destilada. En este trabajo se plantea la posibilidad de usar esta agua en un sistema hidropónico inteligente integrado en el edificio, con el que se mejora la temperatura, inercia térmica del edificio, calidad del aire, aislamiento de ruido e imagen, sumado al ahorro de agua.

El sistema de predicción modular creado en este trabajo se basa en los datos de aire y de equipos instalados para medir la cantidad de agua producida, usando procedimientos psicrométricos. Este modelo predictivo es aplicable tanto en una fase previa de dimensionamiento del sistema, como para detección de errores en el sistema ya instalado, comparando los flujos de agua medidos frente a los estimados.

Palabras clave: Condensado; predictivo; agua; hidropónico; HVAC; edificio

Correspondencia: Enrique Navarrete de Gálvez / endg@uma.es



1. Introducción

La escasez de agua es un problema global, cada vez más agravado por los impactos del cambio climático. En este contexto, la gestión de los recursos hídricos se vuelve imperativa, especialmente dentro del entorno construido, donde a menudo yacen oportunidades significativas de conservación sin explotar. Un ejemplo de esto es el subproducto de condensado generado en los sistemas de climatización. Este condensado que a menudo se venía desaprovechando (Guz, 2005), es cada vez más, visto como un recurso con enorme potencial, siendo la posibilidad para su aprovechamiento mayor en las primeras etapas de diseño de los conjuntos edificatorios, donde el trazado de conducciones de recogida y traslado de los citados productos de condensados no está sujeto a muchas restricciones, y menor en edificios ya construidos, donde lograr este aprovechamiento supone un reto que requiere de soluciones creativas que se adapten a las necesidades constructivas existentes (Siriwardhena & Ranathunga, 2012).

Al ser un producto inherente del proceso de climatización, junto a su volumen y características, el condensado tiene un potencial de reutilización muy importante. Este aspecto queda patente en múltiples contribuciones científicas, como la propuesta por Jose et al (2020), donde se usan los 2m³ de condensado diario resultantes del sistema de clima de un conjunto edificatorio con uso educativo para el riego de jardines, reduciendo del uso de agua potable para este fin en un 25%, o los estudios de Dhamodharan et al (2023), que proponen el uso de estos condensados para riego y acondicionamiento térmico por enfriamiento radiante.

Además de los trabajos dedicados al estudio de posibles usos para los condensados, existen otros estudios y proyectos, que además de preocuparse por los usos de este subproducto, tratan de abordar el cálculo estimado del volumen de agua condensada producida en los procesos de climatización, como por ejemplo el propuesto por Lawrence et al (2010).

En cuanto a los procesos de cálculo, al tratarse de un sistema dependiente de un alto número de variables y consideraciones, no parece existir un acuerdo entre método correcto o método más exacto.

Sobre las aplicaciones del condensado, van desde su reuso para mejoras de aprovechamiento de agua y energía dentro del propio proceso de climatización, como en torres de refrigeración, hasta su uso en baños o riego (Algarni et al., 2018).

Sin embargo, una aplicación no explorada previamente es el uso de este condensado para un cultivo o jardín hidropónico. Este método, que se basa en cultivar sin suelo, en un recipiente, sobre el que se dispone un sustrato (lana de roca, vermiculita, perlita, fibra de coco, arcilla expandida, etc.) adecuado a la especie a cultivar, al que se suministrará el agua con los nutrientes requeridos, destaca por su eficiencia en el uso de agua, hasta un 90% menos que los tradicionales (Jones, 2016). La combinación del condensado, un recurso hídrico potencial de los edificios con sistemas de climatización, y el cultivo hidropónico, podría ofrecer una solución innovadora y sostenible, con amplias ventajas que van desde el aprovechamiento del agua y mejoras en el funcionamiento del edificio, hasta la producción de alimentos en entornos urbanos. La falta de estudios específicos para validar la viabilidad económica y técnica de este enfoque, y la ausencia de normativa o guías para su implementación pueden ser la razón principal por la que esta solución no ha sido aún considerada. Por otro lado, la calidad del agua del producto condensado y su adecuación para estos sistemas debe ser evaluada, ya que podría influenciar al crecimiento de las plantas.

En este contexto, se explora la posibilidad de incluir el cultivo hidropónico como una posible aplicación de este producto, evaluando su viabilidad técnica y proponiendo un marco para su implementación en entornos urbanos. Con ello, podrían abrirse nuevas avenidas para la

gestión sostenible del agua, la mejora de las características de los edificios e incluso la creciente demanda de alimentos en ciudades.

2. Objetivos

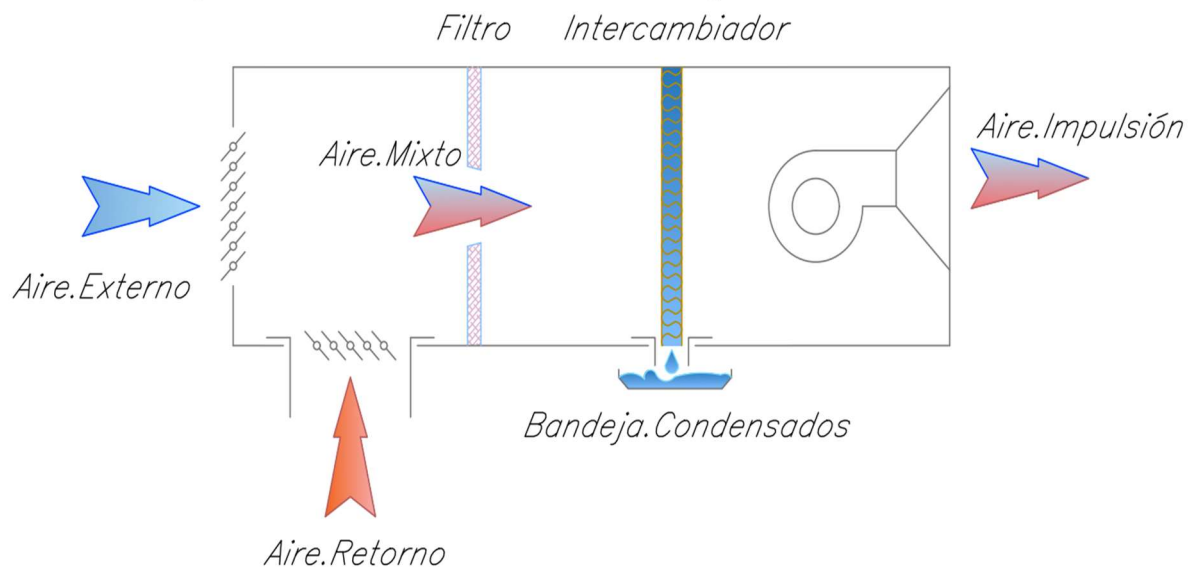
Reconociendo las discrepancias comentadas en la introducción, este estudio propone un método estimativo para cálculo del volumen de condensados, a partir de la potencia térmica de refrigeración, de las características del sistema, y de las condiciones climáticas del entorno, y por otro lado, propone el uso de estos condensados para su aprovechamiento a través de su integración en un sistema hidropónico inteligente. Al reutilizar este recurso, que usualmente es pasado por alto y vertido a la red, no sólo se puede lograr la conservación del agua, sino que esta integración, para el uso propuesto, mejora otros aspectos como la regulación de la temperatura, inercia térmica, calidad del aire, aislamiento acústico y en la apariencia estética general, alineándose con los principios de diseño y operación de edificios sostenibles (Rapisarda et al., 2022).

3. Metodología

Los cálculos propuestos para la estimación de condensados de nuestro modelo predictivo se fundamentan en la psicrometría del proceso de climatización y el esquema propuesto en la figura 1. Para ellos, se contempló la participación de las corrientes de aire que siguen: aire externo (aire procedente del exterior, cuya función fundamental es ventilar), aire de retorno (aire procedente de los espacios acondicionados, con menor capacidad de ventilación que el aire exterior, pero portador de una energía térmica favorable para la eficiencia energética del proceso), aire mixto (la mayoría de los sistemas de climatización actuales, mezclan aire exterior y de retorno, dando lugar al aire mixto (Kandelousi, 2018)) y aire de impulsión (aire mixto tratado, e inyectado en el recinto para su climatización).

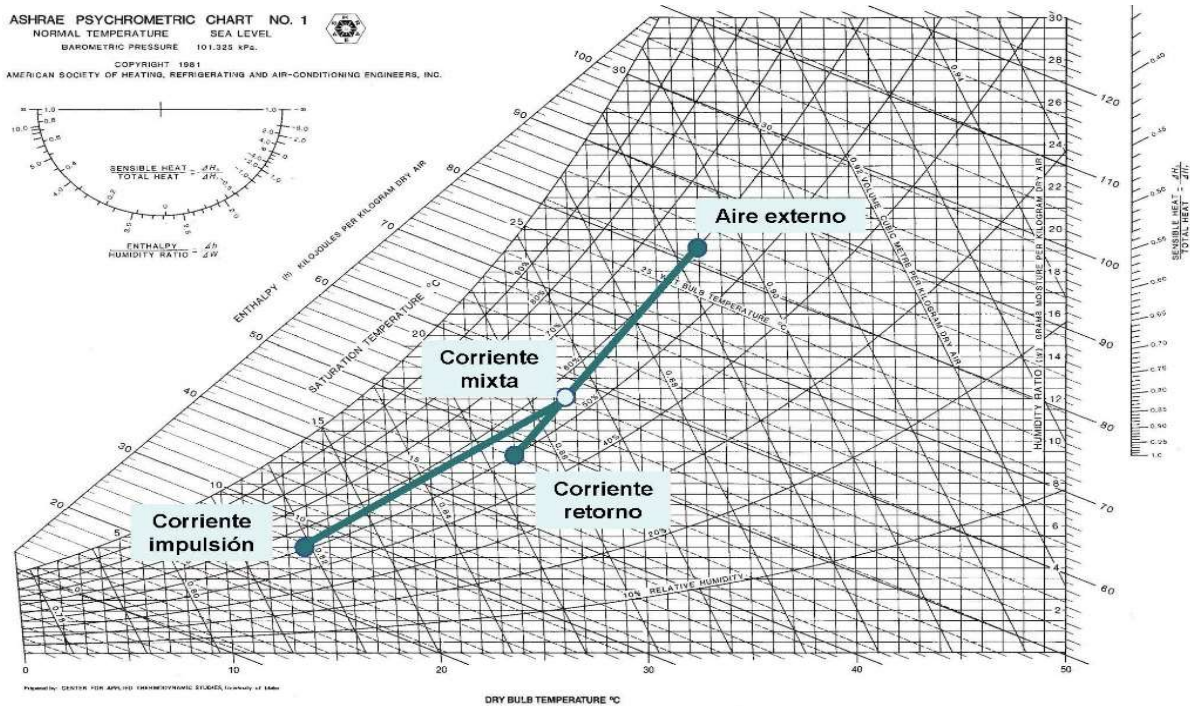
Para determinados usos y en determinadas circunstancias, todo el aire de impulsión deberá ser aire externo (evitar contaminantes, olores...).

Figura 1: Corrientes de aire en un sistema general de climatización.



El proceso de enfriamiento considerado por mezcla de aire exterior con aire de retorno es el mostrado en la figura 2.

Figura 2: Carta psicrométrica con representación de enfriamiento típico de una mezcla de aire.



3.1 Variables y datos de partida

Los parámetros utilizados para definir cada una de las corrientes de aire participantes en el proceso, así como las condiciones de diseño y las características del sistema a tratar, son los siguientes: a) Variables de entrada (dependientes de las condiciones climáticas de lugar concreto para una hora concreta), a.1.) Temperatura del aire externo [$T_{\text{aire externo}} (^{\circ}\text{C})$], a.2) Humedad relativa del aire externo [$H_{\text{aire externo}} (\%)$], y b) Datos iniciales (parámetros constantes para un sistema concreto, función de su envolvente térmica y sus equipos de clima), b.1) Presión atmosférica [$P (\text{Pa})$], b.2) Temperatura de diseño [$T_s (^{\circ}\text{C})$], b.3) Humedad relativa diseño [$H_r (\%)$], b.4) Temperatura de impulsión [$T_{\text{aire impulsión}} (^{\circ}\text{C})$], b.5) SHR (“Sensible heat ratio”) [SHR] y b.6) Porcentaje de aire de retorno [$1 - \%Q_{\text{aire externo}}$].

3.2 Cálculo y modelado

El proceso de cálculo propuesto estima la producción del condensado por hora y por kilovatio de potencia frigorífica instalada. Se asume la discretización considerada con idea de facilitar el escalado de nuestro método a instalaciones reales, donde obtendremos los resultados en base al número de kilovatios de potencia frigorífica instalada. El análisis por horas, periodo en el que la variación de parámetros que participan en el proceso es poco sensible, permite considerar horarios de uso de estancias, o de inicio del proceso de climatización.

Para la estimación de condensados, consideramos como caudal de aire a tratar el propuesto por ASHRAE (ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed., s. f.) para el caso de predimensionados (ver Fórmula (1)), que relacionaremos con la potencia frigorífica requerida según sigue:

$$Q_{\text{aire mixto}} = \frac{q_s}{\rho_{\text{aire}} \times c_{p,\text{aire}} \times \Delta t} \quad (1)$$

Donde $Q_{\text{aire mixto}}$ se corresponde con el flujo de aire en l/s que enfriaremos al pasarlo por el intercambiador y que está compuesto por una mezcla de aire externo con aire de retorno, q_s

es la carga sensible en W requerida para climatizar el recinto, ρ_{aire} es la densidad media del aire 1,20 kg/m³, $c_{p,aire}$ es el calor específico del aire 1,0 kJ/(Kg·K) y Δt es la diferencia de temperatura de bulbo seco entre aire mixto y aire de impulsión.

Para la estimación de cargas sensible y total trabajaremos con las Fórmulas (2) y (3) que siguen ASHRAE (*ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed.*, s. f.):

$$q_s = 1.2 \times Q_{aire\ mixto} \times \Delta t \quad (2)$$

$$q_t = 1.2 \times Q_{aire\ mixto} \times \Delta h \quad (3)$$

Donde q_t es la total en W requerida para climatizar el recinto, y Δh es la diferencia de entalpías entre aire mixto y aire de impulsión en kJ/kg_{aire seco}.

$$SHR = q_s/q_t \quad (4)$$

Usando la definición de SHR (parámetro estimable entre 0.7 y 0.8 ASHRAE (*ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed.*, s. f.)) propuesta en la Fórmula (4), operando con valores constantes y sustituyendo unas fórmulas en otras, alcanzamos una ecuación donde $Q_{aire\ mixto}$ se obtiene como producto del SHR y la q_t (ver Fórmula (5)).

$$Q_{aire\ mixto} = (q_t \times SHR)/(1.2 \times \Delta t) \quad (5)$$

Considerado q_t 1.000 W (para parametrizar por kilovatio de refrigeración), el caudal de aire mixto quedó en función del SHR (valor estimable ASHRAE (*ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed.*, s. f.)) y Δt , que por otro lado, y para un cálculo aproximado, puede también estimarse a partir del SHR ASHRAE (*ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed.*, s. f.). Así, finalmente obtuvimos el caudal de aire requerido por kilovatio de refrigeración como función única del valor de SHR que depende del clima en la ubicación, y el sistema de climatización.

Para definir la corriente de aire mixto se calculó la temperatura, humedad específica y la entalpía de la misma, en función de la proporción de aire de retorno y externo que la componen, y sus condiciones. Todo ello atendiendo a las Fórmulas (6, 7, y 8) que siguen.

$$T_{aire\ mixto} = \%Q_{aire\ externo} \times T_{aire\ externo} + (1 - \%Q_{aire\ externo}) \times T_{aire\ retorno} \quad (6)$$

$$\omega_{aire\ mixto} = \%Q_{aire\ externo} \times \omega_{externo} + (1 - \%Q_{aire\ externo}) \times \omega_{aire\ retorno} \quad (7)$$

$$h_{aire\ mixto} = c_{p,aire} \times T_{aire\ mixto} \times (\lambda + c_{p,vapor} \times T_{aire\ mixto}) \quad (8)$$

Donde $\%Q_{aire\ externo}$ es el porcentaje de aire externo en la mezcla del aire mixto, $(1-\%Q_{aire\ externo})$ es el porcentaje de aire de retorno en la mezcla del aire mixto, $T_{aire\ mixto}$ es la temperatura de bulbo seco de aire mixto en K, $T_{aire\ externo}$ es la temperatura de bulbo seco de aire externo en K, $T_{aire\ retorno}$ es la temperatura de bulbo seco de aire de retorno en K, $W_{aire\ mixto}$ es la humedad específica del aire mixto en kg_{vapor}/kg_{aire seco}, $W_{aire\ externo}$ es la humedad específica del aire externo en kg_{vapor}/kg_{aire seco} y $W_{aire\ retorno}$ es la humedad específica del aire de retorno en kg_{vapor}/kg_{aire seco}, $h_{aire\ mixto}$ es la entalpía del aire mixto en kJ/ kg_{aire seco}, λ calor latente de

vaporización del agua (estimamos un valor constante de 2.501 kJ/kg_{agua}), y el $c_{p,vapor}$ es el calor específico del agua 1,86 kJ/(Kg·K) (Universitat Politècnica de València et al., 2018).

Posteriormente, a partir de las Fórmulas (2, 3 y 4) se procedió a calcular las propiedades del aire de impulsión según sigue (ver Fórmula (9)):

$$h_{aire\ impulsión} = h_{aire\ mixto} - \frac{T_{aire\ mixto} - T_{aire\ impulsión}}{SHR} \quad (9)$$

Donde $h_{aire\ impulsión}$ es la entalpía del aire de impulsión en kJ/ kg_{aire seco}, $T_{aire\ impulsión}$ es la temperatura de bulbo seco de aire de impulsión en K (con valor aproximado de 287 K según ASHRAE (ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed., s. f.)).

Conocida la entalpía y la temperatura de bulbo seco del aire de impulsión, se calcula la humedad específica del mismo por aplicación de la Fórmula 10.

$$h_{aire\ impulsión} = c_{p,aire} \times T_{aire\ impulsión} + \omega_{aire\ impulsión} \cdot (\lambda + c_{p,vapor} \times T_{aire\ impulsión}) \quad (10)$$

Donde $\omega_{aire\ impulsión}$ es la humedad específica del aire de impulsión en kg_{vapor}/kg_{aire seco}.

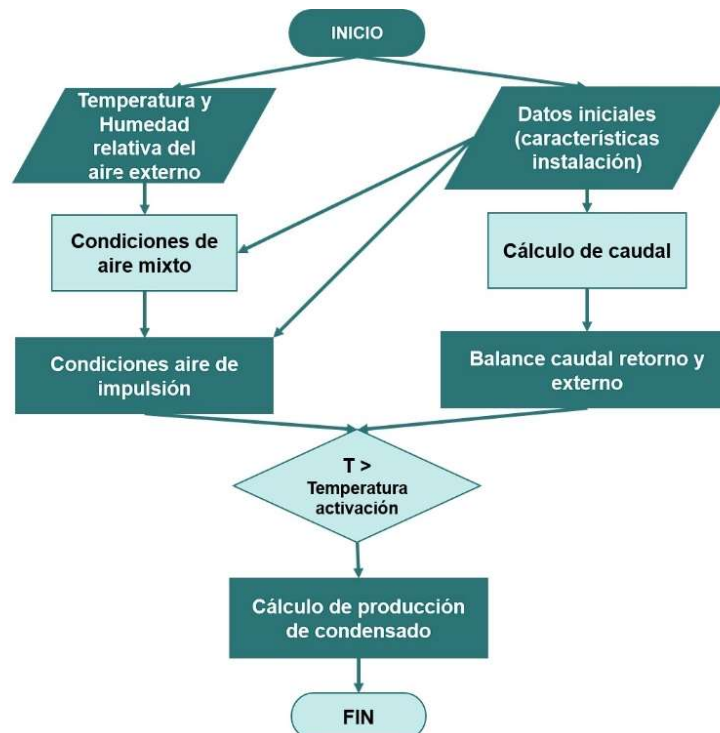
Finalmente procedimos a determinar el condensado como diferencia de humedades entre corriente de aire mixta y corriente de aire de impulsión. Para ello operamos según Fórmula 11 que sigue:

$$C = Q_{aire\ mixto} \times (\omega_{aire\ mixto} - \omega_{aire\ impulsión}) \times \frac{\rho_{aire}}{\rho_{agua}} \times \frac{3600\ s}{1\ hora} \times \frac{1\ m^3}{1000\ l} \quad (11)$$

Donde C es la cantidad de condensados en (l/(h·kW_{de refrigeración})), y ρ_{agua} es la densidad media del agua (con valor aproximado de 997,00 kg/m³).

El diagrama de flujo del modelo propuesto se muestra en la Figura 3 que sigue:

Figura 3: Diagrama de flujo del modelo de cálculo estimativo de condensados.

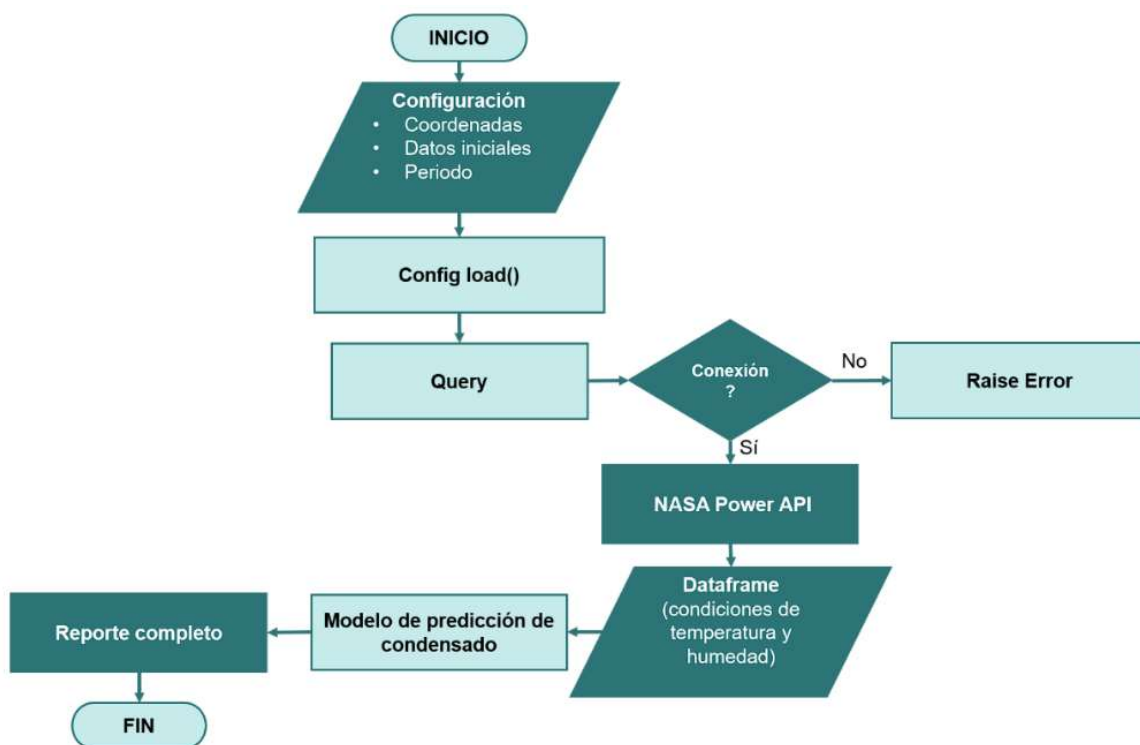


3.3 Aplicación del modelado

Para la aplicación del modelo se generó un algoritmo en Python en el que a partir de los datos de entrada latitud y longitud del emplazamiento, fechas del periodo de estudio, variables solicitadas (en nuestro caso las asociadas al aire externo), frecuencia de salida de datos (horas, días, minutos...), y formato de salida, se conecta al repositorio NASA, POWER API (NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources, s. f.) que nos facilita un reporte con nuestros requerimientos.

A partir de los datos del requerimiento, el algoritmo calcula los condensados estimados por hora dentro del periodo de tiempo especificado y por cada 1.000 W de potencia de refrigeración, todo ello según se muestra en Figura 4.

Figura 4: Diagrama de flujo de proceso de algoritmo desarrollado.



4. Resultados

Por aplicación del modelo propuesto por un lado para un conjunto industrial ubicado en Sevilla, en la zona de Tablada. Este conjunto se compone de varias naves industriales, y en él se emplean fancoils que utilizan un intercambiador de aire-agua, cuya salida de condensados a desagüe está unificada, por lo que la reutilización del mismo no requeriría cambios importantes. Se obtienen los resultados mostrados en la Figura 5, que reflejan la producción en litros para cada día del año 2021, por cada kW de refrigeración.

Por otro lado, se barajó el estudio y la aplicación para el conjunto edificatorio de la Escuela de Ingenierías Industriales de Málaga, en la que se emplean fancoils para climatizar cada instancia. Al ser la universidad origen de este trabajo, son conocidas sus características técnicas, y podría ser un ejemplo representativo dado su uso intensivo y continuo de climatización. La implementación en un entorno universitario permite el desarrollo directo de estudios y la monitorización continua de los mismos, por lo que facilita un avance rápido y el

posible desarrollo de nuevas investigaciones y proyectos relacionados. Se obtienen los resultados mostrados en la Figura 6.

Ambas figuras representan la producción de condensados por litro y por día para un año completo para las condiciones indicadas en cada una de las figuras, como pueden ser las horas de funcionamiento.

Figura 5: Resultados producción de condensados, 1 año, ubicación Sevilla.

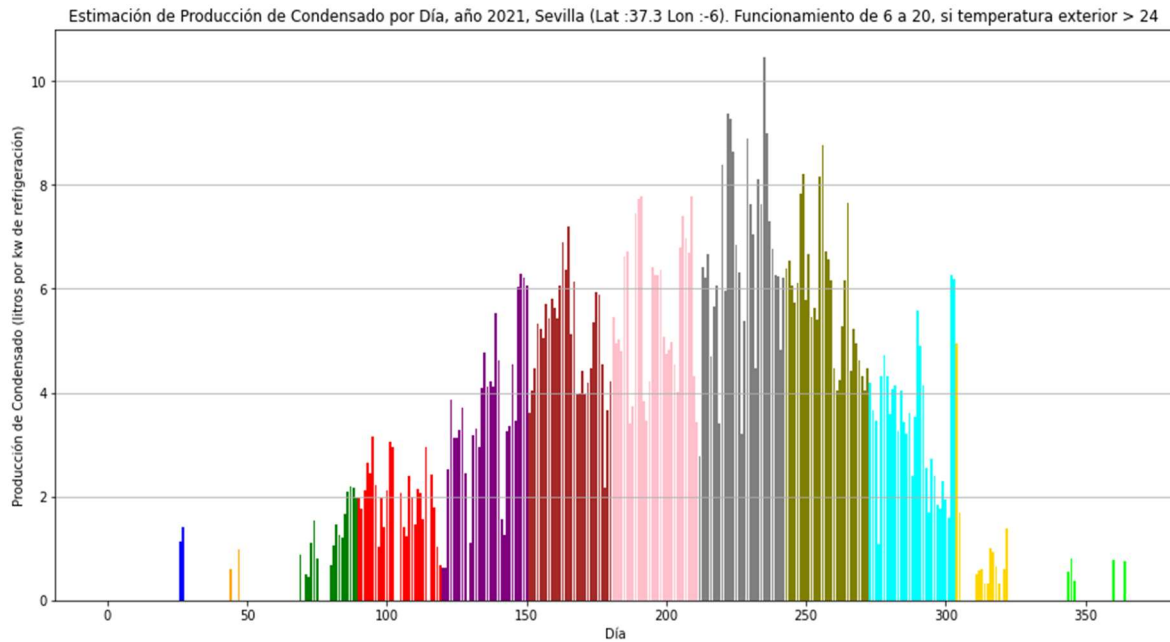
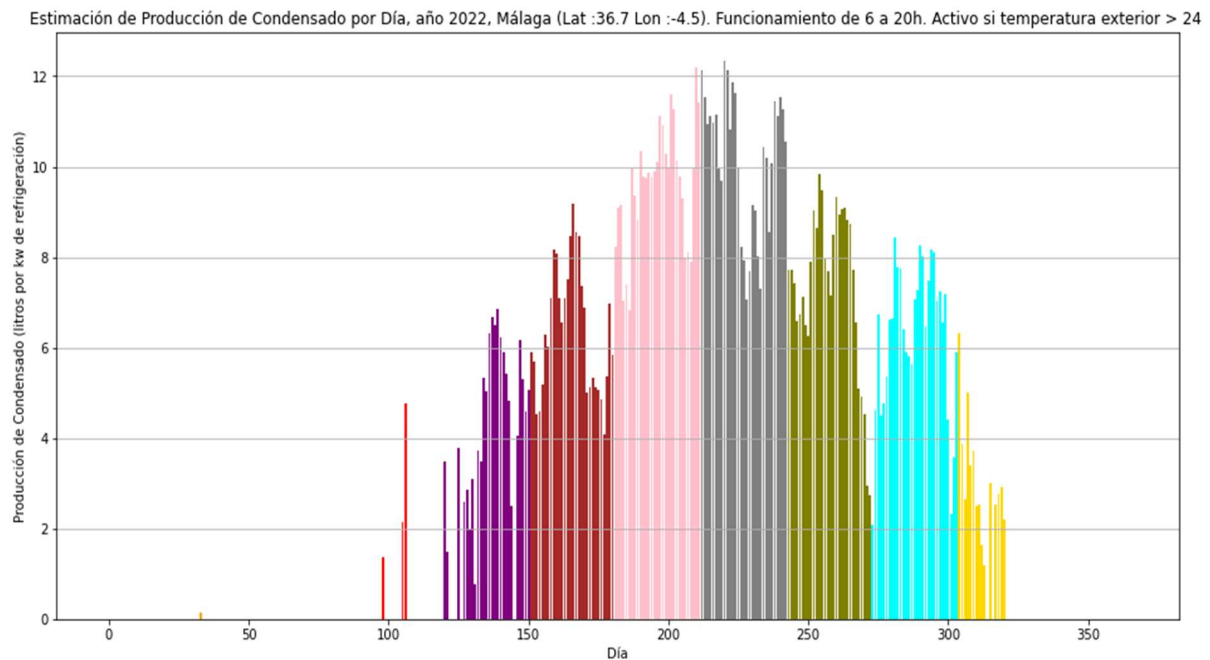


Figura 6: Resultados producción de condensados, 1 año, ubicación Málaga.



Con respecto a las características del agua recomendada para cultivos hidropónicos Nalwade & Mote (2017) proponen los valores recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1: Parámetros aptos para riego cultivo hidropónico

Característica	Valor	Unidades
PH	5.8-6.5	-
Conductividad	1.5-2.5	dS/m
Temperatura	20-30	Celsius

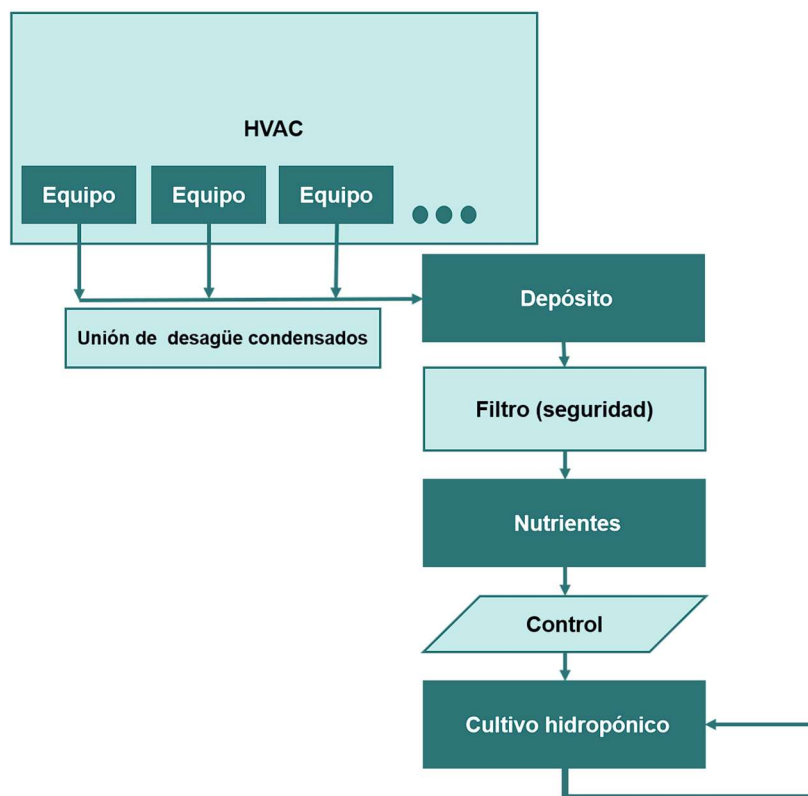
En relación a los parámetros del agua de condensados arrojados en distintos estudios se obtienen los valores indicados en la Tabla 2.

Tabla 2: Parámetros estudiados por distintos autores en aguas de condensado.

Parámetro/Valores	Estudios y autores							
	Al-Farayedhi et al.	Glawe et al.	Alipour et al.	Bryant and Ahmed	Sirwardhena and Ranathunga	Loveless et al.	Mahvi et al.	Rangos aceptables (Amer et al.)
pH	6.52	6.3	6.82	6.5	5.5-6.5	5.7	6.6-6.9	6.5-8
Conductividad (µS/cm)	-	-	42.5	86	60-100	63.7	37.8-45.6	0-400
Oxígeno (mg/L)	-	-	-	7.15	5.0-8.0	-	-	5.0-11.0
Turbidicidad (NTU)	2.01	-	2.43	0.7	0.4-0.7	2.59	2.3	0-1
Nitratos (mg/L)	1.71	-	-	0.6	0-1	-	-	0-45
Cloruros (mg/L)	0.7	-	-	1.2	1-3.2	-	-	0-250

Como resultado primitivo del análisis cualitativo de instalación resulta la propuesta de la Figura 7.

Figura 7: Propuesta esquemática instalación para usar condensados en cultivo hidropónico.



5. Discusión

En el apartado de resultados, se presentan dos posibles salidas del sistema generado bajo condiciones específicas de funcionamiento (a destacar intervalo horario de 6:00 a 20:00 y temperatura de activación del clima para 24 °C de temperatura del recinto) y ubicación. Se destaca que la producción de condensado se intensifica durante los meses de verano, coincidiendo con una mayor demanda de agua, lo que genera una simbiosis beneficiosa entre climatización y necesidades del cultivo hidropónico.

Los resultados mostrados en la Tabla 2 revelan que todos los valores obtenidos en diversos estudios sobre la calidad del agua se encuentran dentro de rangos aceptables para su uso general y, particularmente, para el cultivo hidropónico (ver Tabla 1), con la excepción del valor de turbidez. Aunque inicialmente podría esperarse un valor bajo de turbidez, es probable que la presencia de partículas de polvo y emisiones de vehículos alteren este valor (Mahvi et al., 2013). Sin embargo, dado que este valor de turbidez no afecta al cultivo, no se considera necesario tratar el agua de condensado para su uso en el cultivo hidropónico, sino únicamente su enriquecimiento nutricional.

La elección de utilizar este condensado para el cultivo hidropónico es novedosa y plantea tanto amenazas como oportunidades. Además, se destaca una ventaja del cultivo hidropónico no mencionada en los objetivos: su menor peso por metro cuadrado, lo cual es crucial para su instalación en cubiertas, además de su menor requerimiento de mantenimiento (Rapisarda et al., 2022). Sin embargo, es importante señalar que sólo se han realizado validaciones cualitativas del cultivo hidropónico y del sistema en general, por lo que son necesarias pruebas reales para confirmar su eficacia.

El modelo de cálculo desarrollado se ha probado en dos ubicaciones específicas en las ciudades de Málaga y Sevilla, en España. Para verificar y mejorar el modelo, se compararán

los valores obtenidos de forma predictiva con los valores de condensado medidos directamente.

Como limitaciones al modelo propuesto, se han considerado constantes ciertos parámetros variables, como puedan ser calores específicos, se ha discretizado el proceso en periodos de 1 hora, y se han aproximado parámetros más allá de un cálculo estricto de los mismos. Se ha priorizado la robustez y simplicidad del algoritmo, frente a la precisión del mismo, la cual consideramos en nuestro más leal y humilde entender innecesaria dada la inexactitud de los datos de clima, y considerando que las aproximaciones asumidas están del lado de la seguridad.

6. Conclusiones

Las aguas de condensados mantienen unas propiedades que a priori las hacen aptas para su uso en cultivos hidropónicos.

Se estima una producción de aproximadamente $0,7 \text{ l}/(\text{kW}_{\text{refrigeración}} \cdot \text{h})$.

Desde la perspectiva de ejecución de una instalación de riego a partir de condensados para un cultivo hidropónico, es necesario un estudio concreto para cada binomio conjunto edificatorio y ubicación.

El algoritmo desarrollado facilita el estudio concreto aportando los caudales de condensado estimados para cada día del año, de tal forma que nos permitiría realizar un predimensionado de la instalación y cultivo.

7. Bibliografía

- Al-Farayedhi, A. A., Ibrahim, N. I., & Gandhidson, P. (2014). Condensate as a water source from vapor compression system in hot and humid regions. *Desalination*, 349, 60–67.
- Algarni, S., Saleel, C. A., & Mujeebu, M. A. (2018). Air-conditioning condensate recovery and applications—Current developments and challenges ahead. *Sustainable Cities and Society*, 37, 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.032>
- Alipour, V., Mahvi, A. H., & Rezaei, L. (2015). Quantitative and qualitative characteristics of condensate water of home air-conditioning system in Iran. *Desalination and Water Treatment*, 53, 1834–1839. DOI: 10.1080/19443994.2013.870724
- Amer, O., Boukhanouf, R., & Ibrahim, H. G. (2015). A review of evaporative cooling technologies. *International Journal of Environmental Science and Development*, 6(no. 2), 111–117.
- ASHRAE Pocket Guide for Air-Conditioning, Heating, Ventilation, Refrigeration, 10th Ed.* (s. f.). Recuperado 12 de abril de 2024, de <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/ashrae-pocket-guide-for-air-conditioning-heating-ventilation-refrigeration-10th-ed>
- Bryant, J. A., & Ahmed, T. (2008). Condensate water collection for an institutional building in Doha, Qatar: An opportunity for water sustainability. <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/90780>
- Dhamodharan, P., Kannappan Ayalur, B., Prabakaran, R., Santhosh Kumar, A., Sang Choi, G., & Chul Kim, S. (2023). Current state of research in air-conditioning condensate

- utilization and challenges: A review approach. *Applied Thermal Engineering*, 233, 121171. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121171>
- Glawe, D. D., Wooten, M., & Lye, B. (2016). Quality of condensate from air-handling units. *ASHRAE Journal*, 58 (12), 14–23.
- Guz, K. (2005). Condensate Water Recovery. *ASHRAE Journal*, 47(6), 54.
- Jones, J. B. (2016). *Hydroponics: A Practical Guide for the Soilless Grower*. CRC Press.
- Jose, J., González, J., González, C., Ustariz, I., & Arévalo, I. (2020). *Air-Conditioning Condensate Recovery in Hot and Arid Climate Regions: A Case Study*. <https://doi.org/10.46855/energy-proceedings-4223>
- Kandelousi, M. S. (2018). *HVAC System*. IntechOpen.
- Lawrence, T. M., Perry, J., & Dempsey, P. (2010). Predicting Condensate Collection from HVAC Air Handling Units. *ASHRAE Transactions*, 116 (Part 2).
- Loveless, K. J., Farooq, A., & Ghaffour, N. (2012). Collection of Condensate Water: Global Potential and Water Quality Impacts. *Water Resources Management*, 27(5), 1351–1361. doi:10.1007/s11269-012-0241-8
- Mahvi, A. H., Alipour, V., & Rezaei, L. (2013). ATMOSPHERIC MOISTURE CONDENSATION TO WATER RECOVERY BY HOME AIR CONDITIONERS. *American Journal of Applied Sciences*, 10(8), 917-923. <https://doi.org/10.3844/ajassp.2013.917.923>
- Nalwade, R., & Mote, T. (2017). *Hydroponics Farming, International Conference on Trends in Electronics and Informatics*. 645–650.
- NASA POWER | *Prediction Of Worldwide Energy Resources*. (s. f.). Recuperado 12 de abril de 2024, de <https://power.larc.nasa.gov/>
- Rapisarda, R., Nocera, F., Costanzo, V., Sciuto, G., & Caponetto, R. (2022). Hydroponic Green Roof Systems as an Alternative to Traditional Pond and Green Roofs: A Literature Review. *Energies*, 15(6), 2190. <https://doi.org/10.3390/en15062190>
- Siriwardhena, K., & Ranathunga, S. (2012). *Air-conditioners condensate recovery system for buildings*. <http://dl.lib.uom.lk/handle/123/8927>
- Universitat Politècnica de València, Soto Francés, V. M., Sarabia Escrivà, E. J., Universitat Politècnica de València, Carnero Melero, P., & Pinazo Ojer, J. M. (2018). *Psicrometría aplicada a la climatización. Bases teóricas y problemas* (1.ª ed.). Editorial Universitat Politècnica de València. <https://doi.org/10.4995/REA.2022.646701>

**Comunicación alineada con los
Objetivos de Desarrollo Sostenible**

