

CONAMA 2020

CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Integración de una técnica innovadora dual día-noche para climatización.

Acondicionamiento de espacios públicos.



INTEGRACIÓN DE UNA TÉCNICA INNOVADORA DUAL DÍA-NOCHE PARA
CLIMATIZACIÓN. ACONDICIONAMIENTO DE ESPACIOS PÚBLICOS

Autor Principal: María del Carmen Guerrero Delgado (Universidad de Sevilla)

Otros autores: Daniel Castro Medina (Universidad de Sevilla); Teresa Rocío Palomo Amores (Universidad de Sevilla); José Sánchez Ramos (Universidad de Sevilla); Servando Álvarez Domínguez (Universidad de Sevilla).

ÍNDICE

1. Título
2. Palabras Clave
3. Resumen
4. Introducción
5. Metodología
6. Resultados
7. Discusión
8. Conclusiones
9. Bibliografía

1 TÍTULO

Integración de una técnica innovadora dual día-noche para climatización. Acondicionamiento de espacios públicos.

2 PALABRAS CLAVES

Lámina descendente; Energía; Técnica natural; Disipación térmica.

3 RESUMEN

El incesante aumento de la población en núcleos urbanos y la evolución en nuestra forma de vida precisa amoldar un nuevo concepto de ciudad y de la interacción de sus habitantes con los espacios urbanos. De esta idea nace el proyecto Cartuja Qanat, un proyecto de transformación urbana innovador a través de cual se fomentará el uso de la calle como dinamizador social, mejorándola e involucrando en esa transformación a todo el ecosistema de la ciudad. Este nuevo modelo de gobernanza urbanística servirá de facilitador para la introducción de dichos modelos en su expansión por la ciudad para ir cambiando el aspecto y funcionalidad del concepto de calle y su evolución futura en los próximos 15 años. En él, se desarrollarán un conjunto de actuaciones sobre dos espacios públicos abiertos para aliviar las altas temperaturas de la época estival en la Isla de la Cartuja (Sevilla) y garantizar el confort térmico de los asistentes mediante técnicas pasivas y soluciones bioclimáticas adaptativas que mitiguen el impacto en el medioambiente. El elemento natural de disipación térmica es el agua, el cual permitirá la climatización de los espacios mediante el enfriamiento del aire. Una de las claves del proyecto, es el enfriamiento de agua mediante la técnica natural “lámina descendente”. El agua, es impulsada desde unos volúmenes de acumulación por boquillas de abanico sobre los paneles fotovoltaicos dispuestos en la cubierta de la instalación formándose una lámina descendente sobre ellos. Esta técnica innovadora permite enfriar el agua mediante un efecto convectivo-radiante durante la noche gracias a la baja temperatura del cielo obteniéndose resultados prometedores de disipación térmica, cuya potencia de disipación varía en función del caudal, ancho y longitud de recorrido de la lámina. La dualidad del sistema permite el enfriamiento de agua por la noche y la producción de electricidad durante el día con el objetivo de garantizar un balance de energía nulo en la instalación.

4 INTRODUCCIÓN

El calentamiento global ha provocado el rápido crecimiento de los días calurosos y el clima extremo, aumentando extremadamente la demanda de refrigeración [1]. Dicha situación promueve la necesidad de desarrollar y emplear técnicas de enfriamiento natural que reduzcan el consumo de energía, apoyen el medio ambiente y el ecosistema y proporcionen un grado satisfactorio de confort.

El proyecto Cartuja Qanat es un proyecto de transformación urbana innovador a través de cual se fomentará el uso de la calle como dinamizador social, mejorándola e involucrando en esa transformación a todo el ecosistema de la ciudad (agentes públicos, privados y ciudadanos). Este proyecto es una continuación de los trabajos comenzados por Servando Álvarez Domínguez et al. [4] en la Exposición Universal en la ciudad de Sevilla en el año 1992 en el cual se busca innovar, mejorar y sobre todo ser capaz de integrarlo en proyectos reales y edificios.

Este nuevo modelo de gobernanza urbanística servirá de facilitador para la introducción de dichos modelos en su expansión por la ciudad para ir cambiando el aspecto y funcionalidad del concepto de calle y su evolución futura en los próximos 15 años. En él, se desarrollarán un conjunto de actuaciones y elementos que, integrados, actúan como dinamizadores sociales. Todo ello para mejorar la accesibilidad universal y conseguir que las intervenciones superficiales sobre la urbanización existente logren reconfigurar el urbanismo ejecutado. Se trata, por tanto, de una experiencia innovadora de diseño urbano que mejorará el confort ambiental, promoverá el intercambio social y promueve modelos sostenibles de crecimiento urbanístico. La iniciativa se enmarca en la estrategia de Sevilla en la lucha contra el cambio climático, que tiene dos líneas principales de actuación: desarrollar estrategias para adaptarse al cambio climático a nivel local, y reconocer el carácter vital de la arteria de las calles y barrios [5].

La ejecución del proyecto tiene lugar en la avenida Thomas Alva Edison. Dicha avenida se sitúa en la ciudad de Sevilla, concretamente en la isla de la Cartuja, donde tuvo lugar la exposición universal de 1992. Todas las edificaciones y espacios públicos de la isla de la Cartuja fueron creadas para la exposición Universal. Tras la finalización del evento, algunos pabellones fueron desmontados por los participantes en la exposición, pero la gran mayoría permanecen hoy en día. En la actualidad, la isla de la Cartuja abarca parte de la infraestructura de la universidad de Sevilla, así como numerosas empresas o instituciones con carácter científico – innovador.

A lo largo de los años el parque científico y tecnológico Cartuja ha ido creciendo, aprovechándose así la mayor parte de las edificaciones que se encuentra en la isla. Aun así, el objetivo principal sigue siendo alcanzar un mayor porcentaje de ocupación, por lo que el margen de crecimiento de dicho parque sigue siendo enorme. La Expo, no sólo dejó un entramado arquitectónico para el afincamiento empresarial, sino numerosos espacios públicos rodeados de densa vegetación que acompañado de técnicas de enfriamiento naturales innovadoras y pioneras en el mundo, combatían las temperaturas extremas que se registran en la ciudad de Sevilla durante la época estival. El costoso mantenimiento de los espacios públicos y la falta de fondos provocó que estos fueran abandonados, por lo que la vegetación y el mobiliario urbano se ha ido deteriorando a lo largo de los años, quedando totalmente en desuso por los habitantes de la ciudad de Sevilla.

El proyecto Cartuja Qanat tiene como objetivo la rehabilitación, recuperación y acondicionamiento térmico de un anfiteatro ya existente, herencia de la Expo 92, y la creación de un nuevo espacio llamado Zoco. Ambos espacios pretenden garantizar el confort térmico de sus ocupantes mediante el empleo de técnicas naturales de acondicionamiento innovadoras y la gestión de dicha energía mediante el uso de almacenamiento térmico, donde se destaca en ello el concepto estrella del proyecto, que son los denominados “qanats”

Este trabajo se centra en corroborar que la tecnología de lámina descendente desarrollada por don Servando Álvarez Domínguez et al. [6]–[8] puede ser adaptada sobre paneles fotovoltaicos mediante una solución de boquillas de abanico de gran apertura demostrándose que las prestaciones son idénticas, con el añadido de resolver los detalles de su implementación en el proyecto Cartuja Qanat. Esta técnica de enfriamiento natural conocida como lámina descendente utiliza el agua como fluido caloportador. El agua, es impulsada desde unos volúmenes de acumulación por boquillas de abanico sobre los paneles fotovoltaicos dispuestos en la cubierta de la instalación formándose una lámina descendente sobre ellos. Esta técnica innovadora permite enfriar el agua mediante un efecto convectivo-radiante durante la noche gracias a la baja temperatura del cielo obteniéndose resultados prometedores de disipación térmica, cuya potencia de disipación varía en función del caudal, ancho y longitud de recorrido de la lámina. La dualidad del sistema permite el enfriamiento de agua por la noche y la producción de electricidad durante el día con el objetivo de garantizar un balance de energía nulo en la instalación.

5 METODOLOGÍA

En el presente trabajo se lleva a cabo el desarrollo de la metodología de diseño y evaluación de del sistema de disipación nocturna de lámina descendente sobre paneles fotovoltaicos [8]. Dicha metodología de diseño y evaluación se basa en un modelo de caracterización simplificada del sistema, el cual permite valorar el potencial de dicho sistema ante diferentes condiciones de operación, con objeto de valorar de forma rápida y sencilla el empleo de dicha técnica para enfriar el agua de los volúmenes de acumulación. En la misma medida, se evalúan una serie de boquillas con el objetivo de determinar la disposición de la boquilla frente al panel fotovoltaico que garantice el desarrollo óptimo de la lámina, posibilitando el mayor recorrido de esta para su correcta utilización en los paneles fotovoltaicos colocados sobre la cubierta del zoco en el proyecto Cartuja Qanat.

Modelo

El modelo simplificado utilizado se basa en el trabajo de Guerrero et al.[6]–[9], en el cual se detallan los fundamentos del modelo que aquí se resumen para el cálculo de la temperatura de agua en un captador solar. Este modelo simplificado, realiza un tratamiento conjunto de la transferencia convectiva- evaporativa, formulando la potencia disipada en una lámina descendente según la ecuación 1.

$$P_d = Q_{cv- evaporativo} + Q_{rad} \quad (\text{eq.1})$$

Dónde P_d es la potencia de disipación total del sistema de lámina descendente $\left(\frac{W}{m^2}\right)$, $Q_{cv- evaporativo}$ la potencia de enfriamiento nocturno referida a las pérdidas térmicas por convección y evaporación y Q_{rad} la potencia de enfriamiento nocturno referida a las pérdidas térmicas por radiación con el cielo.

La potencia de enfriamiento referida a las pérdidas térmicas convectiva y evaporativa se formula según la ecuación 2.

$$Q_{cv- evaporativo} \left(\frac{W}{m^2}\right) = h_{cv- evaporativo} \cdot (T_{agua} - T_{bulbo\ húmedo}) \quad (\text{eq.2})$$

Dónde $h_{cv- evaporativo} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ es el coeficiente de transferencia convectivo- evaporativo de la lámina de agua, T_{agua} ($^\circ C$) la temperatura del agua y $T_{bulbo\ húmedo}$ ($^\circ C$) la temperatura de bulbo húmedo.

La formulación transferencia de calor por radiación que se produce entre la lámina, los alrededores y el cielo se formula según la ecuación 3. Dado que el factor de forma entre el sistema de lámina descendente y el cielo es prácticamente la unidad se desprecian los efectos radiantes con los alrededores y dado que la diferencia de temperaturas entre el agua y el cielo es menor a 100K es posible la linealización de la formulación desarrollada en la ecuación 2, de forma que la potencia de enfriamiento referida a las pérdidas térmicas por radiación y el cielo se formula según la ecuación 4.

$$Q_{rad} \left(\frac{W}{m^2}\right) = h_{rad} \cdot (T_{agua} - T_{cielo}) \quad (\text{eq.3})$$

$$h_{rad} = 4 \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot \left(\frac{T_{agua} + T_{cielo}}{2}\right)^3 \quad (\text{eq.4})$$

Dónde $h_{rad} \left(\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}\right)$ es el coeficiente de transferencia radiante de la lámina de agua, T_{agua} ($^\circ C$) la temperatura del agua y T_{cielo} ($^\circ C$) la temperatura de cielo.

Prototipo experimental

Para la obtención de los parámetros del modelo se lleva a cabo un prototipo experimental del sistema de lámina descendente basado en el trabajo de Guerrero et al.[8] el cual se describe a continuación:

1. Aljibe: depósito de almacenamiento del volumen de agua a enfriar.
2. Transporte de agua: La tubería de impulsión vehicula el agua hacia la boquilla de impulsión, siendo por tanto necesario en dicho tramo una bomba de circulación. La tubería de retorno vehicula el agua que proviene del canalón de recogida de nuevo al depósito de almacenamiento. En este caso no es requerido un sistema de bombeo ya que el agua circula de forma natural hacia dicho depósito.
3. Boquilla encargada de la impulsión: boquilla de abanico de gran apertura ubicada sobre el extremo superior del panel de descenso. La gran apertura de la boquilla posibilita que el agua impulsada desde el depósito bañe el panel por completo formando una película de agua homogénea.
4. Panel fotovoltaico de descenso del agua: superficie plana cuyo material presente unas características adecuadas para el enfriamiento por radiación nocturna (baja reflectividad y transmitancia en la ventana atmosférica, lo que equivale a una alta emisividad (aproximadamente 0,90)).
5. Canalón de recogida de agua: canaleta conectada en la parte inferior del panel de descenso. Dicho elemento se encuentra conectado a la tubería de retorno del agua al aljibe.

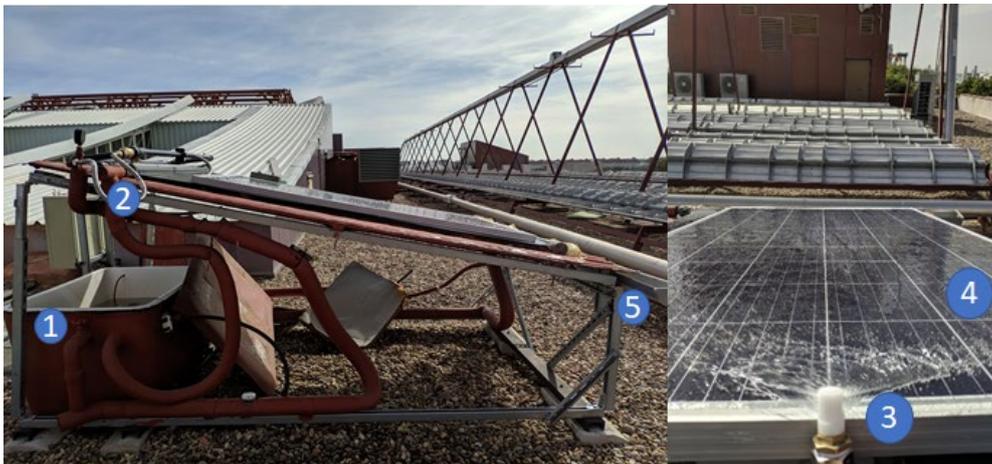


Figura 1. Prototipo experimental del sistema de lámina descendente

Estudio boquillas

Con el objetivo de determinar que boquilla se adapta a las necesidades del proyecto, se evalúan una serie de boquillas. Para la evaluación de cada una de las boquillas se someten estas a los siguientes parámetros a estudio:

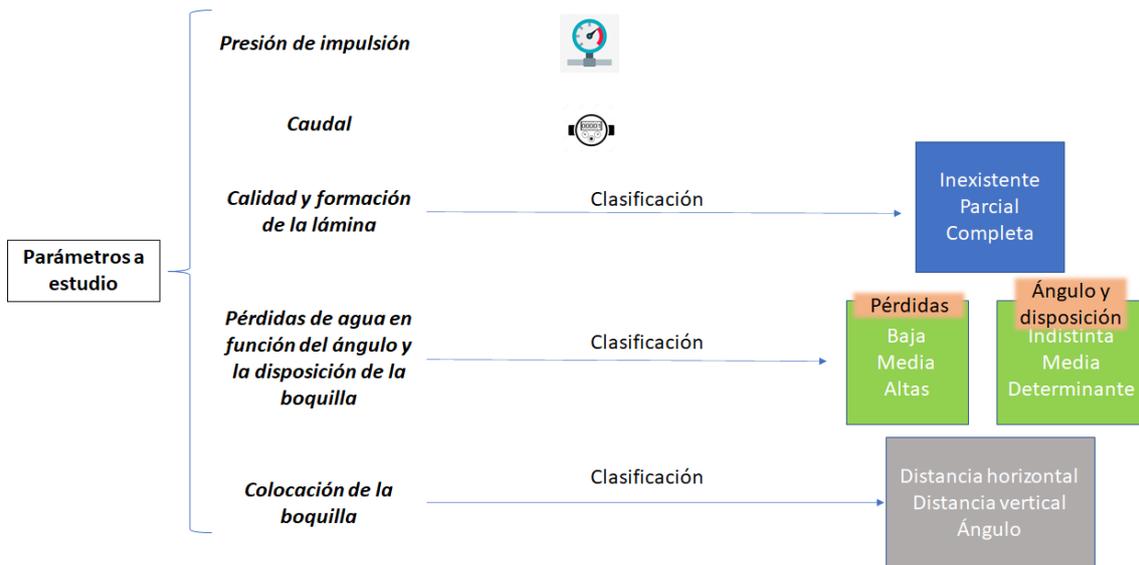


Figura 2. Parámetros a estudio boquillas

La boquilla ideal para la aplicación en el proyecto Cartuja Qanat sobre los paneles fotovoltaicos debe de cumplir una serie de características que garanticen una calidad y formación de la lámina descendente completa, baja presión de funcionamiento, lo que se traduce en un ahorro energético por parte del equipo de presión y, una caudal que optimice la disipación térmica de la lámina descendente. Otro punto a estudio y no menos importante es la disposición de la boquilla respecto el panel fotovoltaico, la cual debe corresponderse con el mayor recorrido posible de la lámina desarrollada sobre el panel y bajas pérdidas provocada por la gran apertura de la boquilla o el impacto directo del chorro con el panel.

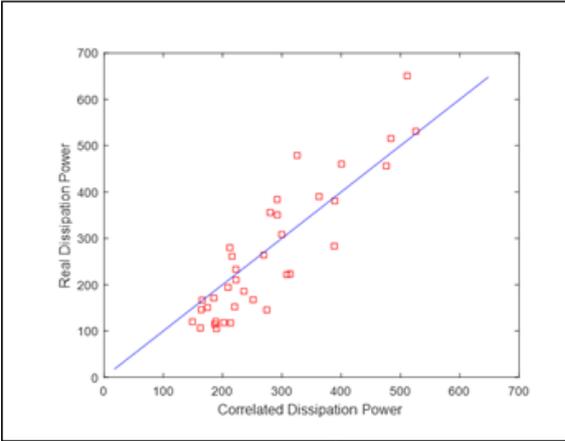
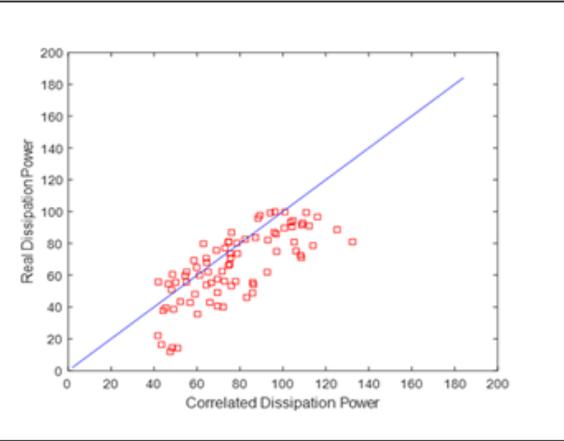
6 RESULTADOS

Los resultados experimentales obtenidos en los trabajos elaborados [6][8] muestran que el enfriamiento del agua a lo largo de la noche presenta un cambio de comportamiento caracterizado por la variación de las condiciones térmicas del agua y del aire. Dicha evolución puede ser caracterizada en dos tramos:

- El tramo 1 caracteriza la disipación térmica del sistema cuando las condiciones térmicas del aire y del agua hacen que se produzcan fenómenos de enfriamiento evaporativo, es decir, cuando el aire no se encuentra saturado.
- El tramo 2 caracteriza la disipación del sistema dado el intercambio radiante con el cielo una vez alcanzada la saturación del aire. En este tramo la transferencia convectiva del agua con el aire saturado puede incluso contrarrestar la disipación de calor con el cielo, siendo la pendiente del enfriamiento del agua en dicho tramo más atenuada.

Por ello, dada la distinción clara de tendencias en el enfriamiento del agua se obtienen los parámetros del modelo de caracterización simplificado ($h_{cv- evaporativo}$ y h_{rad}) en ambos tramos. A continuación, se muestra el modelo en tramos propuesto, así como los resultados de la validación experimental del mismo (tabla 1). Los valores de los parámetros obtenidos son válidos para un área de disipación de 2.4 m² y un caudal de circulación del agua para el enfriamiento de la misma de 1440 l/h.

Tabla 1. Modelo simplificado propuesto (condiciones de operación de referencia) [6]

Tramo 1: Aire no saturado (Radiación+Convección+Evaporación)	Tramo 2: Aire saturado (Radiación+Convección)
	
Tramo 1: Aire no saturado	$P_d = 33.11 \cdot (T_{agua} - T_{bulbo\ húmedo}) + 5 \cdot (T_{agua} - T_{cielo})$ (Eq.5)
Tramo 2: Aire saturado	$P_d = 3.44 \cdot (T_{agua} - T_{bulbo\ húmedo}) + 5 \cdot (T_{agua} - T_{cielo})$ (Eq.6)

Dada la definición de h_{rad} según la ecuación 4, dicho coeficiente de transferencia radiante varía con la temperatura del agua y cielo. Según los resultados de los experimentos realizados los valores de h_{rad} obtenidos varían entre 4.8 y 5.3 $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$, por lo que el valor de h_{rad} obtenido del

ajuste experimental en ambos tramos se encuentra dentro del rango esperado. Además, se ha revisado la propuesta que se hace en estudios detallados del efecto combinado de transferencia de calor y masa. El coeficiente de transferencia de calor convectivo - evaporativo propuesto toma un valor de $33.11 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Este valor, según lo comentado en la sección anterior, se entiende como el efecto neto de la suma de la convección y evaporación con el aire. Por lo que si se toma la aproximación del coeficiente convectivo [9] en el rango de velocidades de viento medido entre 0 y 2, se tiene un valor que puede oscilar entre $3\text{-}5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. A su vez, la ejecución de las correlaciones [4] devuelven un valor del coeficiente de transferencia evaporativo entre $18 \text{ y } 45 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$. Por consiguiente, el valor de 33.11 puede considerarse dentro del rango esperado, e incluso se prueba que la evaporación domina la transferencia de calor con el aire colindante.

Como se ha comentado anteriormente, los valores de los parámetros obtenidos son válidos para un área de disipación de 2.4 m^2 y un caudal de circulación del agua para el enfriamiento de esta de 1440 L/h . Con objeto de analizar la variación de la potencia de disipación nocturna al modificar dichas condiciones de funcionamiento se analiza experimentalmente la evolución de esta al variar los $\text{L/h}\cdot\text{m}^2$ de operación del sistema. La figura 3 muestra los resultados obtenidos donde puede observarse un comportamiento asintótico del aumento de la potencia de disipación nocturna a partir de aproximadamente $600 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$

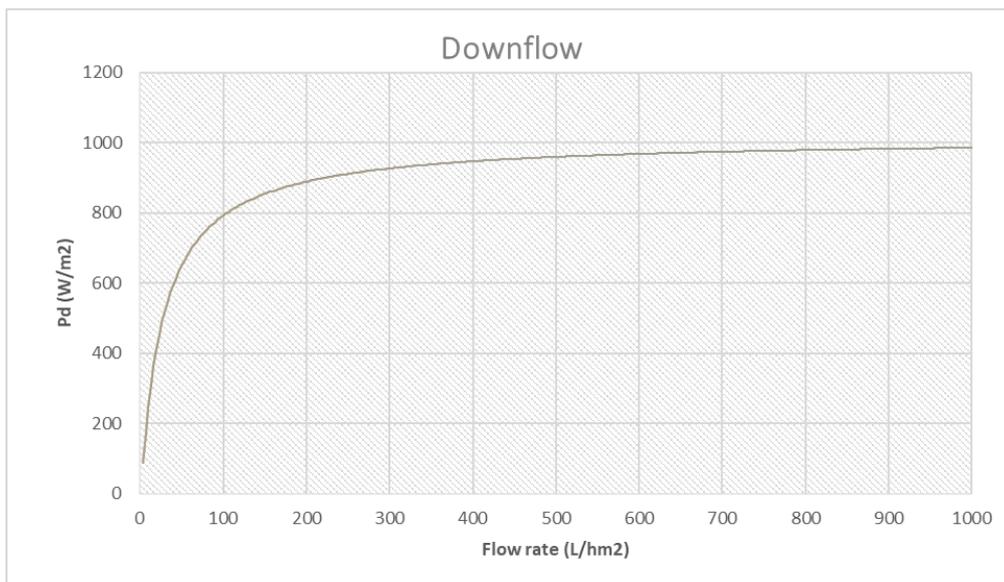


Figura 3. Variación de la potencia de disipación en función de las condiciones de operación [6]

Tomando como referencia las condiciones de ensayo del prototipo experimental ($600 \text{ L/h}\cdot\text{m}^2$) la variación del factor corrector en función de las condiciones de operación se muestra en la figura 4.

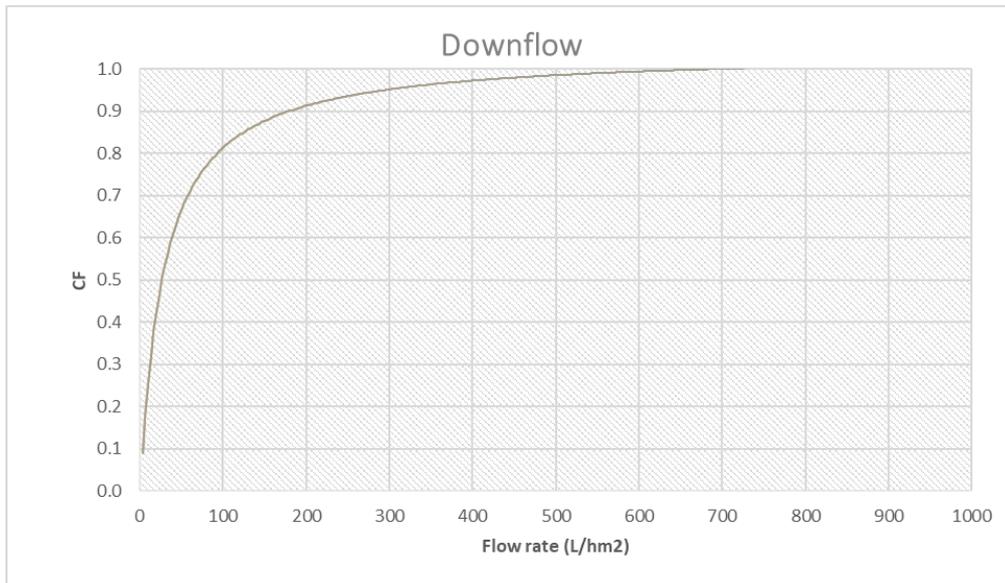


Figura 4. Factor corrector de la potencia de disipación en función de las condiciones de operación [6]

Por tanto, la potencia de disipación nocturna estimada corregida por la variación de las condiciones de operación del sistema de referencia se formula según la ecuación 7:

$$P_{d_c} = P_d \cdot CF \quad (\text{eq.7})$$

Dónde P_d es la potencia de disipación nocturna estimada para las condiciones de operación del sistema de referencia según se muestra en la tabla 1 y CF es el factor corrector asociado a la variación de las condiciones de operación $(\frac{L}{h \cdot m^2})$.

El factor corrector asociado a la variación de las condiciones de operación se formula según la ecuación 8:

$$CF = 1 - a \cdot \exp(-b \cdot \text{Flow rate} (\frac{L}{h \cdot m^2})^c) \quad (\text{eq.8})$$

Los datos graficados en la figura 4 permiten identificar el modelo presentado en la eq. 6. De esta identificación se obtiene un ajuste casi perfecto (coeficientes de correlación por encima del 0.99, con un error máximo relativo menor del 1%) con los valores de los coeficientes mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes del modelo de cálculo del factor corrector $CF=f(L/h \cdot m^2)$ [6]

Coeficientes de factor corrector CF (ver eq. 8)	Mejor valor	95% Intervalo de confianza
a	1.273	(1.237, 1.308)
b	0.1647	(0.1527, 0.1768)

c	0.5312	(0.5187, 0.5437)
---	--------	------------------

Tras múltiples comprobaciones experimentales, se determina que la siguiente configuración es óptima reduciendo al máximo las pérdidas de agua por impacto lateral y obteniendo el mayor aprovechamiento posible de la superficie del panel:



Figura 5. Disposición óptima de la boquilla

Como se aprecia en la imagen, la configuración óptima sitúa la boquilla a 8 cm de distancia del panel (ejes representados) y a una altura de 5 cm hasta la cabeza de la boquilla utilizada. En cuanto al ángulo, se estima una inclinación de 60° respecto a la horizontal garantizando que toda el agua es vertida sobre el panel y evitando pérdidas mayores por vuelo del flujo directamente al exterior.

De los distintos ensayos realizados se extrae la conclusión de que la boquilla tipo 3 es la óptima para realizar la función que se desea sobre los paneles fotovoltaicos colocados en la cubierta del zoco presentando los siguientes resultados y colocación óptima:

Tabla 3. Datos técnicos de la boquilla seleccionada

Boquilla	Presión	Caudal	Lámina	Pérdidas	Disposición óptima		
CW04	0.7 bar	16 l/min	Completa	Bajas	8 cm horizontal	5 cm altura	60° ángulo

- Esta colocación de la boquilla permite que para presiones menores (hasta 0.5 bar) se garantice que el agua es depositada sobre el panel de igual forma, variando únicamente el comienzo de una lámina descendente completamente desarrollada.
- La pérdida lateral “solo” tiene importancia en los paneles colocados en los laterales sobre la cubierta del zoco ya que en los consecutivos el agua impacta y salta al panel contiguo sin generar pérdidas. Es importante realizar la instalación de canalones laterales a los paneles para recoger esta agua y evitar las posibles filtraciones entre paneles. Por seguridad, implementar canales debajo de la fotovoltaica para redirigir las posibles pérdidas al canalón principal.

- En cuanto al panel utilizado, se propone que estos no dispongan de marco para evitar problemas en la transición de la lámina entre paneles consecutivos garantizando la continuidad de la lámina como si de un solo panel se tratase.

7 DISCUSIÓN

Los estudios llevados a cabo corroboran el potencial de enfriamiento de la técnica natural mediante lámina descendente, lo cual permite la incorporación de la tecnología en el diseño del proyecto con confianza, puesto que los valores han resultado positivos para la finalidad que se buscaba. Se han analizado distintos aspectos que afectan al funcionamiento y eficiencia del sistema, proporcionando directrices que permiten el dimensionado de la tecnología de enfriamiento en otros campos de aplicación.

La importancia de esta técnica de disipación nocturna reside en el potencial de enfriamiento contrastado, lo que supone una técnica revolucionaria con aplicabilidad en el sector residencial mediante el uso de fancoils, unidad de tratamiento de aire y sistemas radiantes o en elementos innovadores como los sistemas térmicamente activados (TABS) con un importante impacto en el ahorro económico, tratándose de una energía 100% renovable y limpia.

8 CONCLUSIONES

Los estudios realizados a nivel teórico y práctico permiten implementar el enfriamiento natural mediante lámina descendente utilizando boquillas de abanico de gran apertura para su impulsión sobre los paneles fotovoltaicos como tecnología de disipación térmica en el proyecto Cartuja Qanat.

Tal y como se ha demostrado experimentalmente, la técnica de lámina descendente presenta un elevado potencial de enfriamiento debido a la transferencia convectiva, radiante y evaporativa. Unido a esto se destaca el bajo consumo de agua necesario, siendo éste del orden de 7 y 8 veces menor que en el sistema de enfriamiento evaporativo convencional. Por ello, se demuestra el enorme interés de dicha tecnología para su uso en el proyecto.

Los resultados obtenidos sobre paneles fotovoltaicos se asemejan al enorme potencial de enfriamiento de esta tecnología de disipación natural nocturna, propuesta por Guerrero et al. [7], lo que corrobora la integración de una tecnología innovadora dual, día – noche, la cual combina la producción eléctrica durante el día para el abastecimiento energético de la instalación y la enorme capacidad de disipación térmica de la lámina descendente sobre los paneles durante la noche. En el estudio comentado anteriormente, se determina que el ahorro energético en edificios derivados de la técnica innovadora lámina descendente es del 43% para zonas climáticas cálidas, mientras que para zonas frías alcanza el 97%. Para cualquier área de disipación dada, una mayor capacidad de almacenamiento da como resultado un mayor porcentaje de la demanda satisfecha. Del mismo modo, para cualquier volumen de almacenamiento dado, aumentar el área de disipación da como resultado que se satisfaga una mayor demanda.

INTEGRACIÓN DE UNA TÉCNICA INNOVADORA DUAL DÍA-NOCHE PARA CLIMATIZACIÓN.

Para la demanda de refrigeración estimada como valor de referencia para el parque de edificaciones en Europa, es posible lograr mediante la técnica de enfriamiento tratada edificios que no requieran sistemas de aire acondicionado según la zona climática y permite alcanzar el objetivo en prácticamente toda Europa del estándar Passivhaus.

Este estudio ha sido financiado por la Comisión Europea bajo el proyecto UIA03-31 CartujaQanat (Urban Innovative Action – UIA) y cofinanciado por los fondos FEDER (European Regional Development Funds (ERDF))

BIBLIOGRAFIA

- [1] [M. Santamouris, “Innovating to zero the building sector in Europe: Minimising the energy consumption, eradication of the energy poverty and mitigating the local climate change,” *Sol. Energy*, vol. 128, pp. 61–94, 2016, doi: 10.1016/j.solener.2016.01.021.
- [2] M. Santamouris, “Cooling the buildings – past, present and future,” *Energy Build.*, vol. 128, pp. 617–638, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.07.034.
- [3] D. A. Asimakopoulos *et al.*, “Modelling the energy demand projection of the building sector in Greece in the 21st century,” *Energy Build.*, vol. 49, pp. 488–498, Jun. 2012, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2012.02.043.
- [4] “SISIUS: Ficha personal: Servando Álvarez Domínguez.” https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=3126 (accessed Nov. 20, 2020).
- [5] “Inicio | CartujaQanat.” <https://cartujaqanat.com/#proyecto> (accessed Oct. 19, 2020).
- [6] Mc. C. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, J. A. Tenorio Ríos, and S. Álvarez Domínguez, “Falling-film as natural cooling technique: Modelling and energy impact assessment,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 221, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113168.
- [7] Mc. C. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, and S. Álvarez Domínguez, “Using the sky as heat sink: Climatic applicability of night-sky based natural cooling techniques in Europe,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 225, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.113424.
- [8] Mc. C. Guerrero Delgado, J. Sánchez Ramos, Mc. C. Pavón Moreno, J. A. Tenorio Ríos, and S. Álvarez Domínguez, “Experimental analysis of atmospheric heat sinks as heat dissipators,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 207, no. January, p. 112550, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112550.
- [9] M. del Carmen Guerrero Delgado Directores and S. Álvarez Domínguez José Sánchez Ramos, “Tesis Doctoral Doctorado Ingeniería Energética, Química y Ambiental.”