

The image features several white line drawings on a blue background. On the left is a large, detailed vertical cross-section of a multi-layered structure, possibly a water filtration or recovery unit, showing various internal components and layers. To the right, there are three smaller drawings: a perspective view of a rectangular box-like structure with internal lines, a cross-section of a sloped roof or channel with a central collection point, and a perspective view of a rectangular basin or tray with internal structural elements.

RECURSOS HÍDRICOS

Modelos de recuperación de agua del aire

Autora: Marta Sacristán Uña
Tutor: Miguel Ángel Padilla Marcos



Universidad de Valladolid

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA

TRABAJO FIN DE GRADO

Recursos hídricos. Modelos de recuperación de agua del aire

AUTORA

MARTA SACRISTÁN UÑA

TUTOR

MIGUEL ÁNGEL PADILLA MARCOS



ETSAVA
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a mis padres y hermano por estar siempre ahí y apoyarme durante toda esta etapa. Y agradecer sobre todo a mi padre por la ayuda para realizar el prototipo de este trabajo.

A mis amigos, por compartir todo el camino.

A mi amiga Marta, por apoyarme durante toda la investigación y creer en mí.

Y en especial a mi tutor por su confianza, su ayuda durante todos estos meses y por darme la gran oportunidad de descubrir el campo de la investigación.

Además de dar las gracias a todo el departamento y especialmente a Diego por la paciencia que ha tenido conmigo y todo lo que me ha ayudado.

Gracias a todos.

ABSTRACT

The climate change crisis is leaving devastating data in terms of the natural resources that the planet has to offer. This research addresses how the various water sources have been affected due to poor management or treatment of them, causing serious problems for the planet and people, such as droughts that are occurring all over the world. This is why a new way of obtaining water is being investigated, based on the recovery of the water vapour present in the air. To this end, the processes by which this water could be recovered and the different models that have been developed over the years have been studied.

In addition, a new experimental prototype is proposed, which, by using Peltier cells, is capable of condensing this water vapour. All this with the aim of implementing these new solutions in architecture, trying to improve people's quality of life and comfort.

Keywords: natural resources, architecture, water, water harvesting, air, humidity, condensation, fog, energy, sustainable, efficiency, prototype, system, Peltier cells.

RESUMEN

La crisis del cambio climático está dejando datos devastadores en cuanto a los recursos naturales que el planeta ofrece. En esta investigación se aborda cómo se han visto afectadas las diversas fuentes hídricas debido a una mala gestión o tratamiento de ellas, produciéndose graves problemas para el planeta y las personas como son los casos de sequía que se originan por todo el mundo. Es por ello que se investiga una nueva forma de obtención de agua, basada en la recuperación del vapor de agua presente en el aire. Para ello se han estudiado los procesos con los que se podría recuperar esta agua y los diferentes modelos que se han desarrollado a lo largo de los años.

Además, se plantea un nuevo prototipo experimental, que mediante la utilización de células Peltier es capaz de condensar este vapor de agua. Todo ello con el fin de implementar estas nuevas soluciones a la arquitectura, tratando de mejorar la calidad de vida y el confort de las personas.

Palabras clave: recursos naturales, arquitectura, agua, recogida de agua, aire, humedad, condensación, niebla, energía, sostenible, eficiencia, prototipo, sistema, células Peltier.

Índice

01. Introducción	10
1.1. Contexto	11
1.2. Objetivos de desarrollo sostenible	16
1.3. El problema del agua	21
1.4. Motivación de la propuesta	27
02. Hipótesis y objetivos	30
03. Metodología	34
04. Marco teórico	36
4.1. Vapor de agua	38
4.2. Agua líquida atmosférica (nubosidad y niebla)	48
05. Clasificación de sistemas	50
5.1. Clasificación métodos de recuperación de agua	52
5.2. Clasificación modelos que producen condensación	54
5.3. Clasificación modelos de recogida de agua líquida	56
06. Modelos estudiados	58
6.1. Sistemas de obtención de agua por recogida de niebla	60
6.1.1. Sistemas de redes tradicionales	60
6.1.2. Warka Water Tower	61
6.1.3. DropNet Fog Collector	62
6.1.4. Watair	63
6.2. Sistemas de recuperación de agua a partir del vapor de agua	64
6.2.1. Sunglacier	64
6.2.2. Airdrop	74
6.2.3. Eole Water	76
6.2.4. Otros modelos estudiados	80
07. Pruebas realizadas	82
7.1. Materiales y elementos	84
7.2. Itinerario experimental	88
08. Prototipo final	130
09. Resultados	134
10. Conclusiones	140
11. Bibliografía	144
12. Anexos	154

Introducción

01

1.1. CONTEXTO

Es incuestionable que la evolución humana ha dependido desde sus inicios de los recursos ofrecidos por el medio ambiente. Recursos que hemos ido utilizando para hacer frente a las diferentes adversidades que planteaba el propio planeta y para conseguir sobreponernos a ellas.

Se han utilizado estos bienes naturales para diferentes fines, como son la protección, la alimentación, la adaptación al medio y a las condiciones que se daban en él.

La propia naturaleza del ser humano, lo llevó, desde las primeras etapas de la prehistoria, a buscar lugares donde pudiera protegerse de las amenazas que se le planteaban. Esta búsqueda hizo que ocupara las cuevas que se encontraba en sus desplazamientos en busca de alimentos, es decir, en busca de recursos.

Pero el ser humano no se limitó únicamente a ocupar estas cuevas. Cuando controló el fuego, en el Paleolítico, además de utilizarlo para protegerse de los animales, se dio cuenta que le servía también para acondicionar los espacios que usaba de refugio. Era capaz de calefactar e iluminar las cuevas, creando un espacio más confortable durante los periodos de tiempo que estaba en ellas. Estas estancias cada vez eran más largas debido a que las condiciones climáticas del planeta eran más favorables y le permitía encontrar las materias primas en zonas más próximas a su emplazamiento.

El control de diferentes recursos naturales, como el fuego, el terreno para la agricultura, el soleamiento y los diferentes materiales de su entorno, les sirvió para empezar a vivir de forma sedentaria en el mesolítico, hace diez mil años, estilo de vida con el que continuamos actualmente.

Es a partir de este momento, cuando el ser humano empieza a dominar los recursos que se encuentran en su entorno y empiezan a aparecer los primeros vestigios de lo que hoy entendemos como arquitectura.

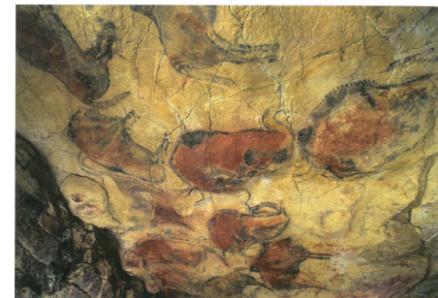


Figura 1. Pinturas rupestres Cueva de Altamira (España).



Figura 2. Dolmen de Menga (España).

Comienzan a vivir en construcciones realizadas por ellos mismos, buscando transportar los bienes naturales a sus asentamientos o a generarlos dentro de ellos.

“La del arquitecto es una artesanía antigua como cazar, pescar, cultivar y explorar. Después de la búsqueda de la comida... llegó la del hogar. A un cierto punto, el hombre, insatisfecho de los refugios ofrecidos por la naturaleza, se convirtió en arquitecto.”

[Renzo Piano]

Todo esto permite establecer un claro vínculo entre recursos naturales, ser humano y arquitectura. Esta relación se ha ido desarrollando durante miles de años y lo ha hecho de forma lineal, siendo los seres humanos los encargados de explotar estas fuentes naturales para generar arquitectura.

Esta dependencia se ha basado en conseguir los tres aspectos que Vitruvio (“De architectura” - año 15 a.C.) utilizó para definir arquitectura: firmitas, utilitas y venustas; resistencia, utilidad y belleza. Principios que consideraba fundamentales para calificar una obra como arquitectura; sin uno de ellos, la obra no estaría completa para definirse como obra arquitectónica.

Cada principio engloba diferentes conceptos subyacentes.

“Firmitas” se refiere a todo lo necesario para que la estructura de la obra cumpla los estándares de estabilidad y durabilidad, así como la correcta ejecución de los sistemas constructivos, elección de materiales y el cumplimiento de la protección frente agentes externos.

En cuanto al principio de “venustas” se consideran nociones referidas a la composición y lenguajes arquitectónicos como el orden, la proporción, la modulación y el estilo, entre otros.

Y, por último, para conseguir la “utilitas” dentro de la arquitectura, es necesario, que el espacio sea útil y confortable para sus usuarios. Para ello es indispensable tanto el uso y gestión de los recursos naturales como las relaciones de los espacios interiores entre ellos, con el paisaje y con el contexto en el que se encuentran.

El uso de recursos naturales ha sido constante en las diferentes etapas de la arquitectura y la historia.

Pero eso no significa que los medios utilizados para acondicionar los espacios y que explotaban las fuentes naturales para funcionar se implementaran de forma simultánea dentro de todos los tipos de arquitectura. Por ejemplo, sí encontramos el fuego desde etapas muy tempranas, mencionadas anteriormente o en otras tipologías como la yurta, refugio desmontable utilizado por los nómadas mongoles desde la Edad Antigua en sus travesías por las estepas de Asia y que contaban con un espacio central donde colocar el fuego. Desde estos primeros momentos el fuego se ha utilizado de forma continuada durante toda la historia, aunque con diferentes fines. Se ha utilizado tanto para calefactar espacios como para iluminar o para transformar otras materias primas.



Figura 4 . Yurta.

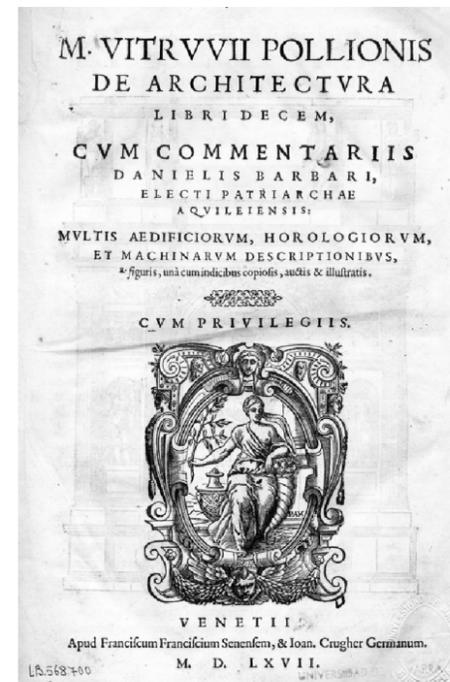


Figura 3. Portada tratado “De architectura” (Vitruvio).

Figura 5. Jeroglífico egipcio.



Figura 6. “Impluvium” en villa de Pompeya (Italia).

No obstante, otros recursos, como los hídricos, van apareciendo paulatinamente. Desde las primeras civilizaciones, como la mesopotámica y la egipcia, se entiende la importancia del agua. Es por esto que la población se situaba en las orillas de ríos, para así poder utilizar el agua en su vida cotidiana y crear infraestructuras que les permitiera aprovecharlo. Algunos de los primeros avances se basaron en la utilización de los movimientos de las masas de agua, como las crecidas de los ríos o el propio discurrir a lo largo del cauce.

Pero, sin embargo, no es hasta la época romana cuando se dan los avances más significativos con relación a los sistemas hídricos. Empiezan a canalizar el agua, por medio de acueductos y canalizaciones subterráneas, para utilizarla primero en arquitecturas públicas o espacios comunes, como son las termas romanas o las letrinas. Mientras que, en espacios de uso privado, aparecen en primer lugar recogidas de agua pluviales o acumulaciones de agua, como el “impluvium”, con diferentes funciones de acondicionamiento higrotérmico.

Será también en esta época cuando aparecen trazados relevantes de saneamiento, a través del alcantarillado y los sistemas de cloacas. Con el fin de evacuar las aguas residuales de las ciudades para evitar problemas sanitarios y no contaminar los depósitos naturales de su entorno. Implementados tanto en uso público como residencial.

El avanzar de la historia llevó a utilizar otros recursos y a explotar cada vez más fuentes naturales con nuevos fines. Es en la Edad Media cuando crece el aprovechamiento de los recursos minerales y vegetales. Considerado como uno de los periodos más bélicos, gran parte de estas materias primas se utilizaban para ese fin, tanto a una escala pequeña como en la de la arquitectura. Las ciudades comenzaron a expandirse y amurallarse, intensificando así el dominio de los recursos que disponían y del propio terreno. El auge de la agricultura y ganadería fue otro factor importante en la explotación de las riquezas naturales, se necesitaba una extensión mayor de tierra para poder desarrollar estas actividades, consiguiéndose a través de la deforestación de las masas arbóreas, lo cual a su vez producía materias primas como la madera.



Figura 7 . Cloaca Máxima Roma (Italia).



Figura 8 (izquierda). Hacinamientos ocurridos en la Edad Media.



Figura 9 (derecha). Contaminación del agua en la Edad Media. Detalle de "Nederlandse Spreekwoorden" del pintor Peter Brueghel. 1559.

El crecimiento de las ciudades estuvo estrechamente relacionado con el aumento de población y su consecuente necesidad de espacio, aunque no se desarrollaron paralelamente. Se comenzaron a producir hacinamientos en los núcleos urbanos que pusieron en crisis la utilización de recursos, los cuales se vieron drásticamente deteriorados por falta de salubridad. En especial la contaminación del agua fue causante de gran parte de los problemas sanitarios, ya que se producían vertidos y mezcla de aguas que viciaban y afectaban a la calidad del agua de consumo.

Un cambio importante en la explotación de los bienes naturales fue el descubrimiento de América (1492), que conlleva también un cambio de época y de sociedad. Se descubrieron nuevas materias primas o reservas de estas, que fueron explotadas y trasladadas a Europa para su aprovechamiento.

Hasta este momento el uso de estos recursos estaba controlado. Se empleaban aquellos que estaban al alcance y su consumo era a un ritmo que permitía la regeneración de sus depósitos.

Pero con los nuevos avances tecnológicos y descubrimientos, tanto por la llegada a América como por la Revolución Industrial, la demanda de recursos creció. La población requería un mercado mayor, lo cual llevó a la invención de nuevas máquinas que permitieran cubrir esta demanda, destacando la creación de la máquina de vapor (siglo XVIII).

Además, se produjo un cambio en el tipo de uso que se les daba a los recursos, se comienzan a utilizar también con fines de ocio y recreativos, que los alejan de su origen de supervivencia.

Según se iban sucediendo los avances tecnológicos, cada vez eran más los recursos explotados para utilizarse en la arquitectura y en otros ámbitos. A los que se venían utilizando hasta este momento, que se mantienen y van aumentando, se añade la utilización de otros como los combustibles fósiles, utilizados para el funcionamiento de las nuevas industrias y máquinas.

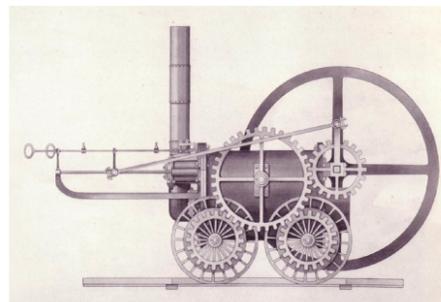


Figura 10. Máquina de vapor.



Figura 11. Deforestación en Papua (Indonesia). Comparativa entre el año 2019 (arriba) y el 2022 (abajo).

Desde ese momento y a causa de todos los progresos producidos, la arquitectura y las demás disciplinas empezaron a consumir recursos que se encontraban fuera de su alcance y a un ritmo descontrolado, puesto que se había creado la infraestructura que permitía el transporte y la manufacturación de las materias primas a nivel mundial.

Si a esto se suma un nuevo estilo de vida en las personas, basado en una necesidad constante de recursos y sus correspondientes transformaciones, se puede observar cómo el ciclo de consumo – demanda ha ido mermando las principales fuentes naturales o las ha malogrado de tal forma que complica su posterior aprovechamiento.

Todo esto se ha visto proyectado en el planeta, con cambios ambientales que se están desarrollando indistintamente por todo él. La crisis del cambio climático ha dejado a la vista la reducción y destrucción de las reservas naturales. Y ha sido al llegar a este punto cuando ha saltado la voz de alarma. Hay que cambiar el modo de utilización de los recursos.

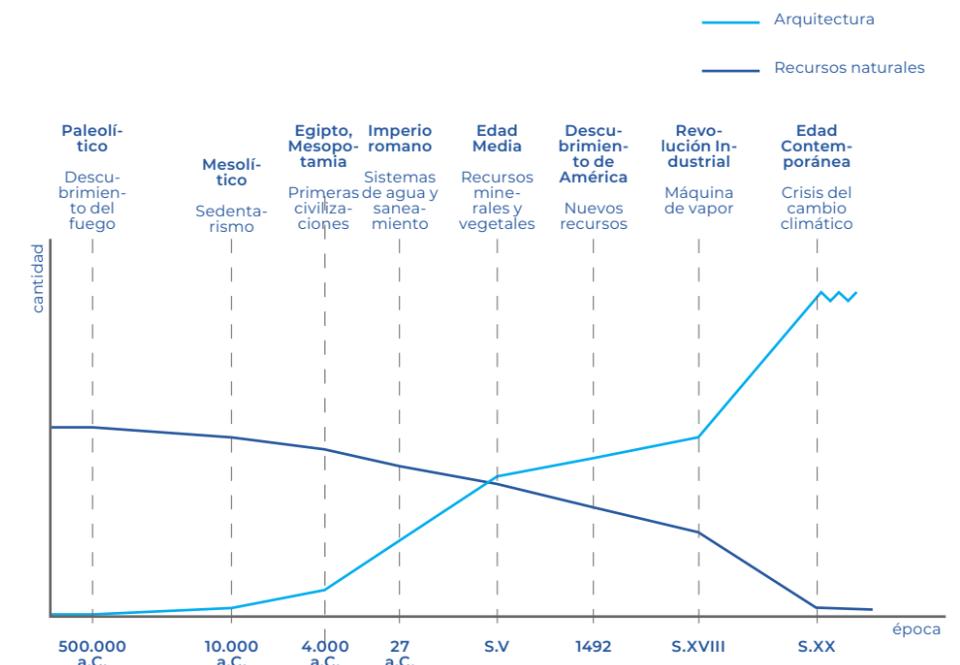


Figura 12. Relación entre recursos naturales y arquitectura durante la historia.

Con los datos expuestos anteriormente y que quedan representados en el gráfico de la Figura 12, se entiende la evolución entre los recursos naturales y la arquitectura; incrementándose el uso de los primeros según avanzaba la historia y que junto a los avances tecnológicos permitían mejorar y desarrollar la arquitectura y las actividades que se desarrollan en torno a esta. Sin embargo, puesto que los recursos no son ilimitados, se observa como el continuo uso los ha disminuido, encontrándonos actualmente en una crisis ambiental mencionada con anterioridad.

1.2. OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE



Figura 13. Logotipo Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Para hacer frente a las nuevas situaciones que se están dando y tratar de frenarlas o minorar su futuro impacto, el 25 de septiembre de 2015, los estados miembros de las Naciones Unidas aprobaron una nueva Agenda de Desarrollo Sostenible. En ella se exponen los objetivos que se deben llevar a cabo durante los siguientes 15 años para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) [Organización de las Naciones Unidas [ONU], s.f.] que se aprobaron son los siguientes:

- 1. Fin de la pobreza:** Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo para 2030.
- 2. Hambre cero:** Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
- 3. Salud y bienestar:** Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades.
- 4. Educación de calidad:** Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.
- 5. Igualdad de género:** Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas.
- 6. Agua limpia y saneamiento:** Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos.
- 7. Energía asequible y no contaminante:** Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.



Figura 14. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

- 8. Trabajo decente y crecimiento económico:** Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
- 9. Industria, Innovación e infraestructura:** Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
- 10. Reducción de las desigualdades:** Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.
- 11. Ciudades y comunidades sostenibles:** Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- 12. Producción y consumo responsables:** Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- 13. Acción por el clima:** Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.
- 14. Vida submarina:** Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
- 15. Vida de ecosistemas terrestres:** Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.
- 16. Paz, justicia e instituciones sólidas:** Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y crear instituciones eficaces, responsables e inclusivas a todos los niveles.
- 17. Alianzas para lograr los objetivos:** Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

El tema de los recursos naturales es recurrente en el desarrollo de estos objetivos. Tanto por su aplicación directa como por su influencia en temas sociales y económicos.

Esta investigación se relaciona con los parámetros estipulados en los objetivos 3, 6, 7, 11, 12, 13 y 15, que son: Salud y bienestar (3), Agua limpia y saneamiento (6), Energía asequible y no contaminante (7), Ciudades y comunidades sostenibles (11), Producción y consumo responsables (12), Acción por el clima (13) y Vida de ecosistemas terrestres (15).

En los objetivos se desarrollan otras metas secundarias, destacando algunas que se encuentran más estrechamente relacionadas con lo planteado en este trabajo, y que son las siguientes [ONU, s.f.]:

Para el año 2030 se pretende:

- Combatir las **enfermedades transmitidas por el agua**, la hepatitis y otras enfermedades transmisibles; así como acabar con epidemias como el SIDA, la tuberculosis, la malaria y enfermedades tropicales desatendidas

- Disminuir sustancialmente el número de muertes y enfermedades producidas por la **contaminación del agua**, el aire y el suelo, y las ocasionadas por productos químicos peligrosos.



15.

De aquí al 2030 se persigue:

- Lograr acceso universal y equitativo al **agua potable** a un precio asequible para todos.

- Mejorar la **calidad del agua** reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial.

- Aumentar el **uso eficiente de los recursos hídricos** en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez y reducir el número de personas que sufren falta de agua.

- Implementar la **gestión integrada** de recursos hídricos a todos los niveles,



16.

incluso mediante la cooperación transfronteriza, según proceda.

- Ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en **actividades y programas relativos al agua y el saneamiento**, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización.

- Apoyar y fortalecer la participación de las comunidades locales en la mejora de la **gestión del agua y el saneamiento**.

Complementariamente:

- Proteger y restablecer los **ecosistemas relacionados con el agua**, incluidos bosques, montañas, humedales, ríos, acuíferos y lagos.



22.

En el periodo hasta 2030 se busca:

- Aumentar la **urbanización inclusiva y sostenible** y la capacidad para la planificación y la gestión participativas, integradas y sostenibles de los asentamientos humanos en todos los países.

- Redoblar esfuerzos para proteger y salvaguardar el **patrimonio cultural y natural** del mundo.

- Reducir el número de muertes causadas por los **desastres**, incluidos los relacionados con el **agua**, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad.

- Reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la

calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo.

- Proporcionar apoyo a los países menos adelantados, incluso mediante asistencia financiera y técnica, para que puedan construir **edificios sostenibles y resilientes** utilizando materiales locales.

Complementariamente:

- Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover la inclusión, el **uso eficiente de los recursos**, la mitigación del cambio climático y la adaptación a él y la resiliencia ante los desastres, y desarrollar y poner en práctica, en consonancia con el Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres 2015-2030, la gestión integral de los riesgos de desastre a todos los niveles.

Figura 15. Objetivo 3.

Figura 16. Objetivo 6.

Figura 17. Objetivo 7.

Figura 18. Objetivo 11.

Figura 19. Objetivo 12.

Figura 20. Objetivo 13.

Figura 21. Objetivo 15.

Figura 22. ODS.



17.

Como metas para el 2030 se aspira a:

- Garantizar el acceso universal a **servicios energéticos asequibles, fiables y modernos**.

- Aumentar la proporción de **energía renovable** en el conjunto de fuentes energéticas.

- Duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.

- Aumentar la cooperación internacional para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la **energía limpia**, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles, y promover la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.



19.

Para el 2030 se espera:

- Lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los **recursos naturales**.
- **Reducir** considerablemente la **generación de desechos** mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización.

- Asegurar que las personas de todo el mundo tengan la información y los conocimientos pertinentes para el **desarrollo sostenible** y los estilos de vida en **armonía con la naturaleza**.

- Ayudar a los países en desarrollo a fortalecer su **capacidad científica y tecnológica** para avanzar hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles.

Complementariamente:

- Lograr la **gestión** ecológicamente racional de los **productos químicos** y de todos los **desechos** a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.



20.

Para el 2030 se trata de:

- Fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el **clima** y los **desastres naturales** en todos los países.

- Incorporar medidas relativas al **cambio climático** en las políticas, estrategias y planes nacionales.



21.

Conseguir para el año 2030:

- Luchar contra la **desertificación**, rehabilitar las tierras y los suelos degradados, incluidas las tierras afectadas por la desertificación, **sequía e inundaciones**, y procurar lograr un mundo con una degradación neutra del suelo.

- Promover la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos y promover el acceso adecuado a esos recursos, como se ha convenido internacionalmente.

- Movilizar y aumentar de manera significativa los recursos financieros procedentes de todas las fuentes para conservar y utilizar de **forma sostenible** la diversidad biológica y los ecosistemas.

Complementariamente:

- Velar por la conservación, el restablecimiento y el uso sostenible de los ecosistemas terrestres y los ecosistemas interiores de **agua dulce** y los servicios que proporcionan, en particular los bosques, los humedales, las montañas y las zonas áridas, en consonancia con las obligaciones contraídas en virtud de acuerdos internacionales.

Teniendo en cuenta todo lo anterior y entendiendo que se trata de un tema que hay que abordar de forma global, el ámbito de la arquitectura ha comenzado desde hace algunos años a proponer medidas para frenar el consumo excesivo de recursos naturales. Por ejemplo: la implementación de energías renovables, tanto en las nuevas construcciones como en las ya realizadas; la aplicación de la economía circular a la hora de realizar nuevos proyectos; el reaprovechamiento y reciclaje de los residuos que se producen dentro de los espacios, así como en la fase de ejecución de obra o de demolición; la colocación de sistemas separativos, como por ejemplo en el saneamiento con separación de aguas negras, aguas grises y agua de lluvia, entre otras muchas medidas.

Para conseguir una mejor relación entre arquitectura y recursos se han empezado a fijar los objetivos en un buen diseño arquitectónico y en una buena elección de materiales y sistemas, basándose en la economía de medios, que permiten realizar arquitectura de calidad, de forma ecológica y sostenible, en cualquier parte del mundo. Buscando mantener siempre la calidad de vida que ofrecía hasta ahora la arquitectura.

Además, se deben plantear otros objetivos; como ir más allá de la economía circular, siendo capaces de generar recursos en la arquitectura que mejoren el impacto de estas en el medio ambiente, y aprovechar de forma adecuada los recursos al alcance intentando aportar soluciones que eviten su rápido agotamiento.



Figura 23. Esquema de relación entre los campos.

Podría considerarse que la relación tradicional entre estos campos ha sido de carácter lineal (figura izquierda), lo que ha llevado a la explotación masiva de los recursos ofrecidos por el planeta. Sin embargo, para frenar la creciente crisis a la que nos enfrentamos, hay que cambiar la perspectiva y generar un proceso que sea lo más sostenible posible (figura derecha), donde los recursos se traten de forma respetuosa y se busque un beneficio común a todos los ámbitos.

1.3. EL PROBLEMA DEL AGUA

“Olvidamos que el ciclo del agua y el ciclo de la vida son uno mismo.”

[Jacques Cousteau]

Uno de los recursos más importantes y que también ha sufrido graves consecuencias a causa de su explotación durante miles de años, es el agua.



Figura 24. Folleto informativo n°35 de las Naciones Unidas. El derecho al agua.

El agua es un recurso indispensable para el desarrollo de la vida, tanto humana como de cualquier otro tipo. Tanto es así, que en 2010 el abastecimiento de agua y el acceso a un saneamiento adecuado fue reconocido como un derecho humano por la Asamblea General de Naciones Unidas. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico [ONU, s.f.].

Además, es el recurso más reconocible del planeta, la Tierra está cubierta en un 70% de su superficie por agua. Sin embargo, el 97.5% de esta, es agua salada [Smedley,T. 2017], lo cual impide su utilización para las necesidades humanas si no dispone de un tratamiento previo.

Como se viene explicando desde un principio, los recursos se están viendo diezmados por su utilización. Y los recursos hídricos han sido muy deteriorados en los últimos años por un mal aprovechamiento del agua, por una contaminación excesiva de los depósitos donde los podemos encontrar y por una disminución de las fuentes naturales. Si a esto se le suma el constante crecimiento de la población mundial y el cambio climático que está sufriendo el planeta, se obtiene como resultado una inminente crisis del agua.

Esta crisis está dejando datos alarmantes en todo el planeta, tanto a nivel humano como del medio ambiente.

El ciclo del agua se está viendo alterado, pues el volumen de agua que se encuentra en los ecosistemas está disminuyendo debido a: una excesiva evaporación del agua que retiene el terreno, a causa del aumento de las temperaturas, y una bajada del volumen de lagos, ríos y

acuíferos, los cuales cubren las necesidades humanas, ya que el propio terreno absorbe más agua y no permite el paso a estas reservas. Sin embargo, las precipitaciones siguen aumentando y provocando cada vez más desastres naturales, de los cuales el 90% están relacionados con el agua [Greenpeace, s.f.].

Se conoce que 21 de las 37 reservas acuíferas del planeta están disminuyendo [Smedley,T. 2017]. Encontrándose algunos de los casos más representativos en ubicaciones como el norte y este de India, Oriente Medio, California y Australia [Andrés, R. 2021]. Por ejemplo, la cuenca del Ganges está disminuyendo su nivel alrededor de 6.31 cm cada año [Smedley,T. 2017].

Debido a todos los motivos anteriores, ya hay más de dos mil millones de personas que viven en países con escasez de agua [Organización Mundial de la Salud [OMS], 2022]. Y la falta de agua podría llegar a desplazar en el año 2030 a 700 millones de personas [ONU, s.f.].

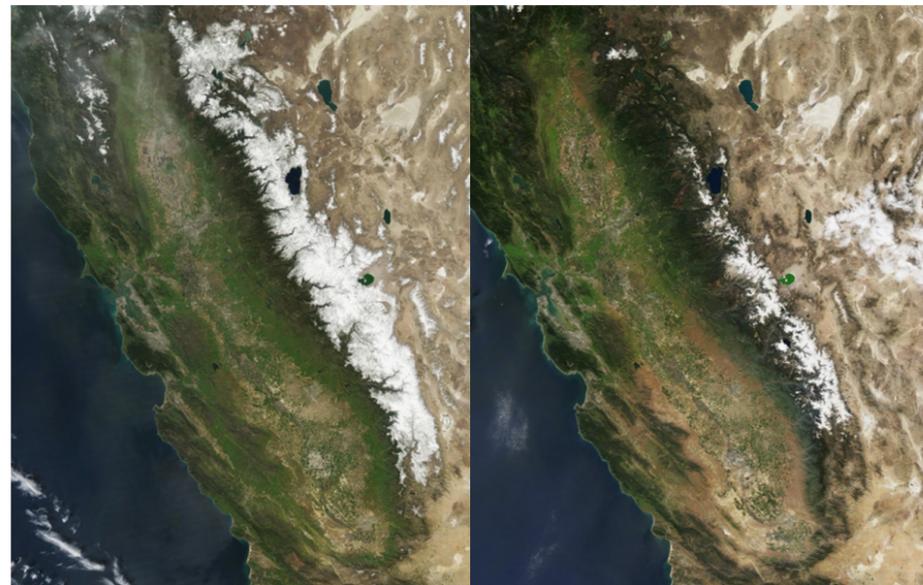


Figura 25. Comparativa de la capa de nieve de la Sierra Nevada de California (EE.UU.). Año 2010 (izquierda). Año 2015 (derecha).

Se espera que la situación continúe empeorando, pues la demanda de agua dulce seguirá aumentando. Llegando a incrementarse en un 55% entre el año 2000 y 2050, debido a actividades en auge como la agricultura, la industria y la necesidad de agua con fines energéticos para centrales de refrigeración. Esta última se prevé que crezca en un 20% y la producción de alimentos un 69% para el año 2035 [Smedley,T. 2017].

La crecida del consumo, junto con el curso actual que llevan las reservas hídricas, hace prever que para el año 2025 dos tercios de la población mundial viva en condiciones de estrés hídrico [Smedley,T. 2018], es decir, que su demanda de agua sea mucho mayor que el volumen disponible.

Llegando a una cifra de 27 millones de personas en España que sufran este problema en el año 2050 [Greenpeace, s.f.].

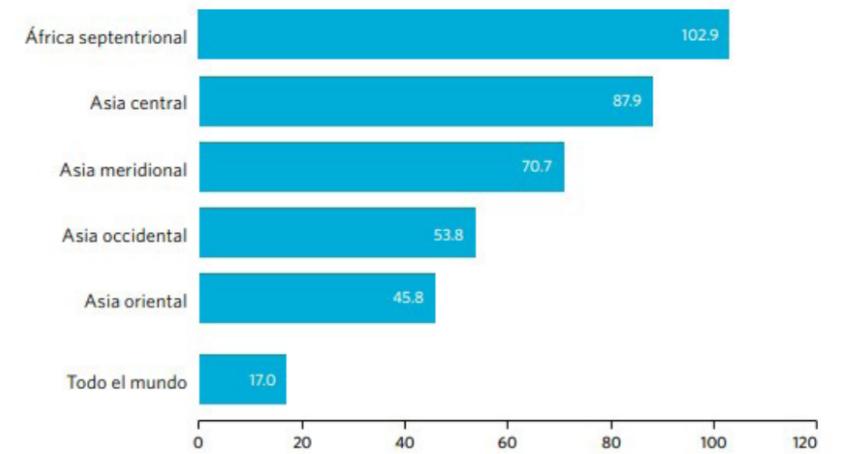


Figura 26. Niveles de estrés hídrico, subregiones con estrés hídrico alto y muy alto, 2017 (porcentaje).

Además, actualmente casi cinco mil millones de personas viven en áreas en las que pueden existir amenazas en cuanto a la seguridad del agua [Andrés, R. 2021].

Otro problema referente al agua y que influye a las personas en grave medida, es la contaminación de este. La gestión inadecuada de las aguas residuales conlleva que el agua que beben cientos de millones de personas se encuentre contaminada de forma biológica o química [OMS, 2022]. Y el 80% de estas aguas vuelven al ecosistema sin recibir el tratamiento adecuado [ONU, s.f.].

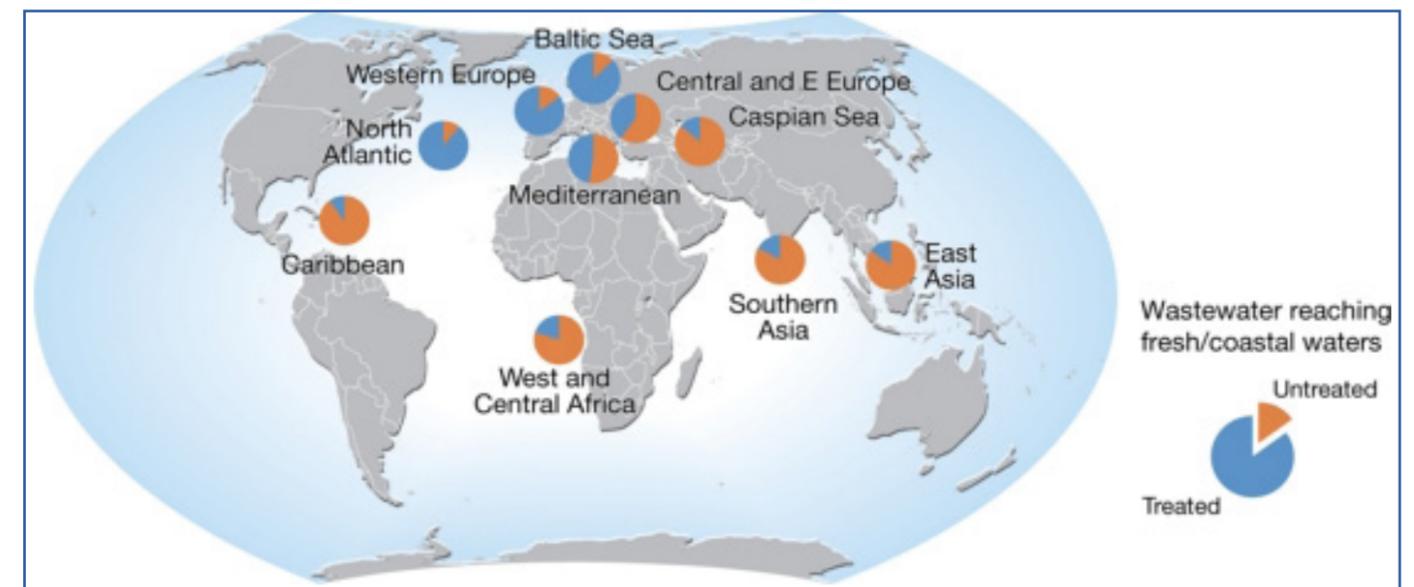


Figura 27. Relación de aguas residuales tratadas.

La necesidad de agua es fundamental en la vida humana. Esto lleva a que aquellas personas que no disponen de un suministro adecuado de agua potable terminen consumiendo agua contaminada.

El consumo de agua contaminada es causante de diversas enfermedades, que producen más de medio millón de muertes al año; en concreto, se producen aproximadamente 829 mil muertes de personas cada año a causa de diarrea, consecuencia directa de la

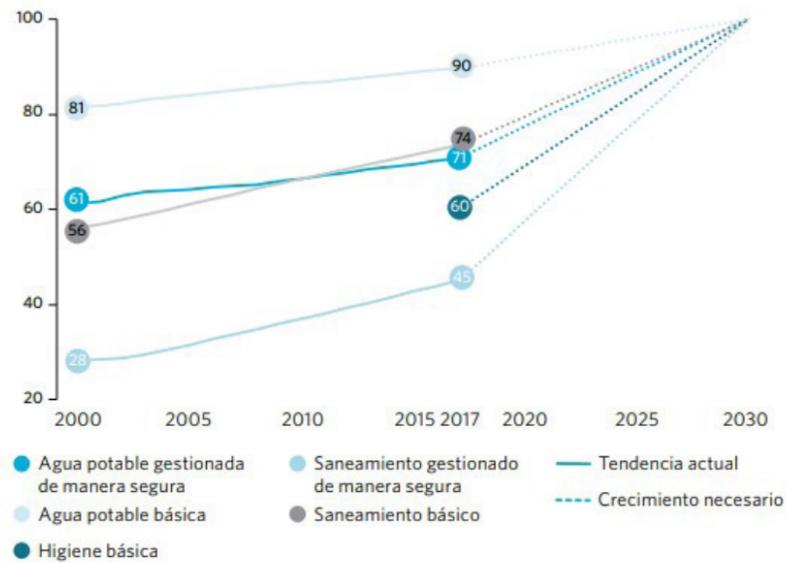


Figura 28. Proporción de la población con acceso a servicios básicos y de gestión segura de agua, saneamiento e higiene (2000-2017) y crecimiento necesario (2017-2030) para alcanzar las metas (porcentaje).

insalubridad del agua, la falta de saneamiento o de higiene de manos [OMS, 2022].

Para intentar frenar y poner solución a todas estas situaciones, se han tomado diferentes medidas; pues el agua es crucial para el desarrollo sostenible, socioeconómico, energético, medioambiental y humano.

Una de las propuestas es el objetivo 6 de la nueva Agenda de Desarrollo Sostenible, “garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos” [ONU, s.f.].

Con la implementación de estas pautas y una acción a nivel global, se han conseguido algunos resultados de mejora en los últimos años. Como, por ejemplo, que, en el año 2020, cinco mil ochocientos millones de personas usaban un servicio de abastecimiento de agua para consumo humano gestionado de forma segura, es decir, ubicado en el lugar de consumo, con total disponibilidad y sin contaminación [OMS, 2022].

Otros actos logrados en algunos países son; en el caso de Australia, durante la sequía sufrida entre el año 1997 y 2009, consiguieron reducir a la mitad el consumo de agua en el uso comercial y residencial, poniendo precio al agua y transformándolo en un producto comercial.

Mientras que Israel ha considerado el agua como un asunto de seguridad nacional, centrándose en el reciclaje de sus aguas residuales y recuperando el 86% del agua que cae por los desagües. Han conseguido que el 40% de su demanda de agua por parte de la agricultura se resuelva con agua procedente de aguas residuales.

“No hay un suministro infinito de agua.”

[Jay Famiglietti, experto en agua de la NASA]

No obstante, existen otras opciones que han ido ocupando un lugar estratégico en la lucha contra la crisis del agua durante estos últimos años y que se basan en dos procesos relativamente sencillos.

El primero de ellos es la desalinización del agua salada procedente de mares y océanos. Esta práctica se ha llevado a cabo en ciudades como Kuwait y Dubái. Pero tiene muchas desventajas, se trata de un sistema costoso, para realizarlo es necesario un gasto energético muy grande y hay que gestionar las cantidades de sal que se obtienen de él. Además, afecta directamente a los ecosistemas marinos, ocasionando diversos estragos que se pueden apreciar en las costas de estas ciudades.



Figura 29. Estragos e islas artificiales en el litoral de los Emiratos Árabes. Año 2011 (izquierda). Año 2012 (derecha).

El segundo sistema que se está utilizando, es la recogida de agua de lluvia. En este caso se trata directamente de agua dulce que debe ser filtrada y purificada para que pueda ser consumida por las personas. Sin embargo, existe el inconveniente de que no en todas partes del mundo llueve o no lo suficiente para asegurar una recogida de agua que pueda ser aprovechada. Aun así, muchas ciudades del mundo están optando ya por esta solución; Melbourne posee un tanque de recogida capaz de almacenar cuatro millones de litros, Singapur puede satisfacer el 30% de la demanda de agua potable de esta forma y otros territorios como Kerala, Bermudas y las Islas Vírgenes de Estados Unidos estipulan que los edificios de nueva construcción incluyan depósitos para la recogida de agua de lluvia [Smedley, T. 2017].

Frente a todo esto, se puede asegurar que uno de los desafíos más importantes del siglo XXI es la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel mundial [Andrés, R.]. Es por ello que se están investigando otras soluciones y sistemas que permitan conseguir un suministro de agua de forma sostenible y que se pueda desarrollar de forma unánime en todo el planeta, incluidas aquellas zonas que sufren problemas de sequía o de abastecimiento.

Se trata de la obtención de agua dulce procedente del aire.

GARANTIZAR LA DISPONIBILIDAD Y LA GESTIÓN SOSTENIBLE DEL AGUA Y EL SANEAMIENTO PARA TODOS

ANTES DE LA COVID-19

A PESAR DE LOS AVANCES,
MILES DE MILLONES
CARECEN DE SERVICIOS DE AGUA Y SANEAMIENTO



2.200 MILLONES DE PERSONAS
CARECEN DE AGUA POTABLE
GESTIONADA DE MANERA SEGURA
(2017)

4.200 MILLONES DE PERSONAS
CARECEN DE SANEAMIENTO
GESTIONADO DE MANERA SEGURA
(2017)



DOS DE CADA CINCO

CENTROS DE SALUD
EN EL MUNDO

CARECEN

DE JABÓN Y AGUA Y DE
DESINFECTANTES DE MANOS
A BASE DE ALCOHOL
(2016)



CONSECUENCIAS DE LA COVID-19



3.000 MILLONES
DE PERSONAS EN EL MUNDO

CARECEN DE INSTALACIONES BÁSICAS
PARA LAVARSE LAS MANOS EN EL HOGAR

EL MÉTODO MÁS EFECTIVO PARA
LA PREVENCIÓN DE LA COVID-19



LA ESCASEZ DE AGUA
PODRÍA DESPLAZAR UNOS
700 MILLONES DE PERSONAS
PARA EL AÑO 2030



ALGUNOS PAÍSES MOSTRARON
UN DÉFICIT DEL 61% PARA ALCANZAR LAS METAS
VICNULADAS AL AGUA Y AL SANEAMIENTO

1.4. MOTIVACIÓN DE LA PROPUESTA

Dada la oportunidad de realizar un trabajo de investigación, sobre un tema a elegir, para concluir esta etapa, mi ambición era la de ser capaz de aportar algo con dicho trabajo, ya fuera a nivel personal o a un nivel más extenso.

Siempre he entendido la arquitectura como una disciplina capaz de abarcar muchas otras y por ello un continuo aprendizaje e investigación sobre diferentes temas.

Para mí, los espacios, los proyectos, deben ser concebidos y entendidos desde las diferentes ramas que he ido estudiando durante estos 5 años; lo cual puede llegar a aportar cierto nivel de complejidad a esta disciplina. Ser capaz de controlar temas tan diversos y a la vez tan relacionados entre ellos.

La influencia que tiene la arquitectura me llevó a plantearme cómo la misma podría ser capaz de aportar y mejorar lo que ofrece a las personas y al propio medio ambiente, sobre todo en estos momentos en los que nos enfrentamos a una crisis ambiental con hechos alarmantes a nivel mundial.

Los temas que relacionan arquitectura y medio ambiente están siendo muy importantes durante estos últimos años. Por ejemplo, cómo la arquitectura puede adaptarse mejor al lugar en que se encuentra, cómo utilizar de forma más adecuada los materiales, cómo reducir el consumo de energía de los edificios y una larga lista de motivos que están llevando a cambiar la forma de realizar arquitectura.

Pero mi pensamiento quería ir un paso más allá de todo esto y plantear qué cosas podía ser capaz de aportar la arquitectura al medio ambiente.

De aquí surge la idea de la recuperación, o devolución, de recursos naturales, que pudiese ayudar al planeta con muchos de los problemas que nosotros mismos hemos causado.

Figura 30. Informe del Objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020.

Más concretamente, se trataba de centrarme en el problema de la sequía causada por el cambio climático, que afecta a miles de personas hoy en día, como se ha mencionado en los puntos anteriores. El agua es un recurso indispensable para la vida de las personas y estamos acostumbrados a encontrarla dentro de la arquitectura, pero conociendo el problema de la sequía y las fuentes hídricas, me interesaba estudiar otras formas de obtención del agua que pudiesen implementarse en aquellos lugares donde escasea este recurso. Sabiendo en todo momento que la solución no se basa únicamente en una nueva forma de obtención de agua, sino también en un tratamiento y utilización adecuado de esta, temas que se están estudiando desde hace tiempo.

Para poder desarrollar todo esto, y teniendo clara la rama en la que quería centrarme, quería empezar por estudiar la parte más técnica, que permitiera averiguar si era posible cumplir o no el propósito de recuperar recursos hídricos. Además de ver el desarrollo que puede llegar a tener en un ámbito como el de la arquitectura.

Hipótesis y Objetivos

02

Conocidos los datos anteriores en cuanto a los recursos del planeta y más concretamente el caso del agua, se entiende que se debe abordar el problema de manera conjunta entre las diferentes disciplinas. Esto lleva a plantear cómo desde la arquitectura se podrían aportar soluciones que permitan aprovechar de manera eficiente y sostenible los recursos naturales.

La propuesta pasa por estudiar los recursos hídricos y sus posibilidades de aprovechamiento a partir de nuevos métodos. En concreto, la capacidad de obtener agua dulce del aire y utilizarlo para las diferentes necesidades humanas y de la arquitectura.

Puesto que la arquitectura es un campo extendido por todo el planeta, su posibilidad de influencia es mucho mayor y se puede abordar este tema de tal forma que el emplazamiento no influya en la consecución de los objetivos y que las condiciones de confort ofrecidas hasta ahora a los usuarios no se vean afectadas.

HIPÓTESIS 1

El aire posee en su composición cierta cantidad de agua. Según la zona del planeta y las condiciones atmosféricas y climáticas, esta cantidad será mayor o menor.

Los espacios arquitectónicos, interiores y exteriores, innegablemente influidos por la calidad del aire, se encuentran expuestos a esta agua. Además, los espacios ya mencionados suman el condicionante del uso al que están destinados, que puede incrementar el volumen de agua.

Con todos estos parámetros, se podría plantear recuperar parte de este agua en estado líquido, sin afectar a las condiciones de confort de los espacios, utilizándose posteriormente para los diferentes requisitos hídricos de los edificios.

HIPÓTESIS 2

En aquellos lugares con problemas de abastecimiento de agua potable, puede llegar a ser más costoso y acarrear más problemas el transporte del agua que la obtención de agua del aire, debido a fallos o deterioros en los sistemas de canalizaciones actuales.

Ya que en los sistemas de recogida de agua dulce procedente del aire se pueden incorporar diferentes filtros y purificadores que permitan el consumo por parte de las personas del agua recogido, con menores riesgos de contaminación de este.

HIPÓTESIS 3

La obtención de agua líquida a partir del fenómeno de la niebla es posible por procesos físicos más simples. Requiere únicamente la recogida de las gotas de agua que forman este fenómeno. Sin embargo, la niebla se da en situaciones y condiciones muy concretas, que dependen de la geografía, la meteorología y el clima del lugar. Es por ello, que no es un sistema que se pueda aprovechar indistintamente del emplazamiento. Al contrario que la recuperación del agua de la humedad ambiente, la obtención se puede ajustar a diferentes características climáticas, simplemente aportando la energía necesaria para producir los cambios de fase.

OBJETIVO PRINCIPAL

Evaluar capacidades de aprovechamiento de recursos hídricos y proponer un modelo funcional que permita la extracción de agua dulce del ambiente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

El objetivo principal, que se centrará en verificar las diversas hipótesis planteadas, requerirá la definición de algunos objetivos específicos que recorran el itinerario investigador para dar con una respuesta acorde al problema planteado en el capítulo anterior.

- » Estudiar los modelos existentes actualmente que trabajan para la recuperación de recursos hídricos.
- » Clasificar los modelos de recuperación de agua existentes según diversas tipologías.
- » Investigar los métodos de condensación para la recuperación de agua en estado líquido.
- » Identificar las características básicas para producir la condensación en un ambiente.
- » Reconocer modelos de obtención de recursos hídricos sostenibles, implementables en la arquitectura.
- » Plantear sistemas que consigan la condensación del agua de manera eficaz.

Metodología

03

Para la elaboración del presente trabajo, se ha optado por una división en partes de este. Estas se han desarrollado de forma no secuenciada, es decir, se han ido complementando entre ellas y añadiendo independientemente del estado de las creadas con anterioridad. El proceso ha permitido abrir diferentes ramas de investigación según se avanzaba en el trabajo. Estas nuevas salidas han aportado más puntos de vista en cuanto al tema y una definición más precisa de este, ayudando a obtener resultados más definidos y a cumplir un mayor número de objetivos.

La investigación se inició con una búsqueda bibliográfica, que permitió identificar los sistemas existentes para la obtención de recursos hídricos en los espacios arquitectónicos. Dichos sistemas se estudiaron e investigaron creando un estado del arte, que a su vez permitió clasificar y desarrollar estos modelos según los procesos en los que se basan.

De cada modelo se ha realizado un estudio de la forma más detallada posible para poder determinar los elementos y procesos que son claves en su funcionamiento. Además, se han investigado los resultados obtenidos con cada uno de ellos en cuanto a la producción de agua líquida. Al tratarse de un tema en constante investigación, muchos de los prototipos se encuentran aún en una fase de prueba, lo que ha aportado resultados y condiciones de laboratorio.

Toda esta información ha permitido definir las formas en que se produce la condensación del vapor de agua y cuáles son las condiciones y requisitos necesarios para producirse. Lo cual ha ayudado a plantear diferentes hipótesis, tanto para los modelos estudiados como para la realización de un prototipo que busque ser lo más eficiente posible en la producción de agua.

La consolidación del prototipo propuesto pasa por recrear las condiciones físicas e instrumentales que consigan alcanzar el objetivo propuesto. Conociéndose ya las de los modelos estudiados y que servirán de base para las del prototipo.

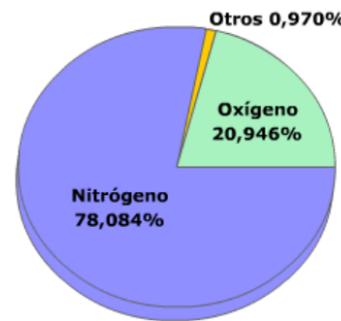
Para ello, tomándose de referencia los sistemas investigados, se ha creado una propuesta que se pudiera desarrollar con componentes asequibles. Utilizándose principalmente materiales reciclados y reutilizados.

Una vez planteadas las bases del prototipo, se han realizado diferentes pruebas. Obteniéndose una serie de resultados que han sido estudiados y valorados con el fin de mejorar la eficiencia del sistema. Este proceso ha llevado a probar diferentes montajes del sistema para comparar los resultados y llegar a una definición final del prototipo que se acercara lo máximo posible a su objetivo de obtención de agua líquida procedente del aire. Sin embargo, se considera que el prototipo de estudio no ha sido concluido, requiriéndose una fase sucesiva en la que se busquen alternativas para conseguir resultados más eficientes que el logrado.

Marco Teórico

04

Composición de la atmósfera
(% en volumen de aire seco)



Otros

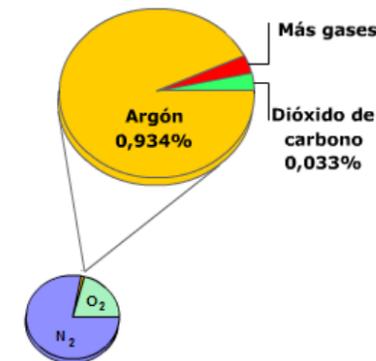


Figura 31. Composición del aire de la atmósfera.

Planteados los diferentes datos de partida, así como las hipótesis y objetivos que condicionan la investigación, es necesario estudiar el ámbito teórico en el que esta se desarrolla, al igual que los factores y procesos que la influyen directamente.

El medio base de todo el trabajo es el aire, y más concretamente el agua que en él se encuentra, como se verá a continuación.

El aire es el elemento que forma la atmósfera terrestre. La cual es una mezcla de gases situada en la parte exterior del planeta y que actúa como barrera para este, además de ser uno de los elementos clave que permite albergar vida en la Tierra.

Esta mezcla gaseosa se compone principalmente por nitrógeno (78%), oxígeno (21%) y argón (0,9%). Además de otra serie de gases que se encuentran en menor proporción, como son el dióxido de carbono, el neón, el helio, el hidrógeno, etc. y diferentes partículas en suspensión (PM) como por ejemplo el polen, el vapor de agua y el polvo, además de diversos compuestos orgánicos volátiles (VOC) de origen antropogénico.

Como se viene explicando desde un principio, el agua es un recurso clave y en la atmósfera encontramos una gran cantidad debido al propio ciclo del agua. Se calcula que el volumen total de agua que posee la atmósfera es de aproximadamente 12.900 km³ [Smedley,T. 2018]. Esto permite buscar el modo de explotarlo como fuente que sirva a las necesidades humanas.

El agua presente en el aire se puede clasificar en dos categorías, las cuales se diferencian según el estado de la materia en que esta se encuentra y sus respectivos modos de recuperación.

4.1. VAPOR DE AGUA

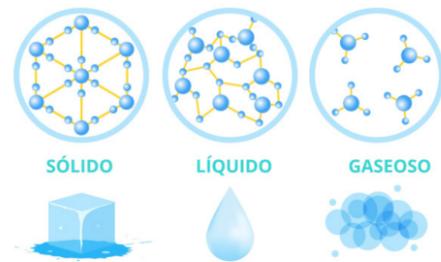


Figura 32. Estados del agua.

También denominado humedad ambiente. Es agua en estado gaseoso que se considera dentro de la propia composición del aire, como se ha indicado anteriormente.

Es por ello que esta agua, en forma de gas, se encuentra de forma permanente por toda la atmósfera, aunque en cantidades variables según la zona terrestre, desde un 1% en las zonas más secas hasta un 4% en las más húmedas.

4.1.1. Métodos de recuperación del vapor de agua

La recuperación del agua dulce del vapor presente en el aire es un campo relativamente moderno que se basa en el proceso físico de la condensación. La condensación es un cambio de fase de la materia, se produce cuando un gas cambia a estado líquido tras producirse una pérdida de energía en dicha materia.

En el caso del agua, la condensación se produce cuando se ha alcanzado una presión de vapor mayor a la presión de vapor saturado. Esto puede ocurrir por el aumento de la presión de vapor o por la disminución de la presión de vapor saturado, ocasionada por una bajada de la temperatura. Este enfriamiento se puede dar por: mezclas de masas de aire húmedo a diferente temperatura, contacto con una superficie fría o por enfriamiento adiabático. [Universidad de Murcia].

Para poder estudiar los sistemas capaces de producir la condensación y recuperar agua líquida del vapor de agua contenido en el aire, hay que hablar de otros conceptos físicos relacionados con este proceso. Como son:

» **Humedad específica:** corresponde a la cantidad de masa de vapor de agua presente en una masa de aire húmedo. Sus unidades son g/kg.

» **Humedad relativa:** es la cantidad de vapor de agua presente en una masa de aire húmedo, respecto a la máxima cantidad de vapor que podría existir si se mantiene la temperatura y presión. Se expresa en tanto por ciento %. Siendo el 100% cuando el aire se encuentra saturado.

» **Temperatura de rocío:** se trata de la temperatura a la que se produce la saturación del vapor contenido en una masa de aire húmedo, por debajo de esta temperatura se comienza a condensar el vapor de agua presente en el aire, siendo constante la presión de vapor. Cuando se da esta situación, la humedad relativa es del 100%. Medida en °C.

» **Temperatura seca:** temperatura obtenida utilizando un termómetro ordinario. También se utiliza como unidad de medida el °C.

» **Temperatura húmeda:** es aquella temperatura que se obtiene empleando un termómetro de bulbo húmedo, el cual se conforma envolviendo el bulbo de un termómetro ordinario con un paño húmedo. Al someter al termómetro a una corriente de aire continua, esta temperatura es constante hasta que se evapora la totalidad del agua del paño. Medida en °C.

» **Entalpía:** es la energía total que puede poseer un sistema y por tanto la energía que puede cambiar con su entorno para modificar sus estados de origen. Equivale a la suma de calor sensible y calor latente presente en el medio.

» **Calor sensible:** calor producido por la vibración de las moléculas que se cede o extrae del medio generando un cambio de su temperatura seca.

» **Calor latente:** energía acumulada en los cambios de estado para producir la rotura o creación de la estructura molecular. Este cambio de estructura corresponde al paso de un estado a otro de la materia. En el caso del agua, este calor que se cede o extrae del aire varía las cantidades de vapor, pero sin modificar la temperatura, pues los cambios de estado se producen a temperatura constante.

La relación entre algunos de estos conceptos se puede conocer con el uso del ábaco psicrométrico, esto es la representación gráfica que vincula las siguientes propiedades psicrométricas: humedad específica, humedad relativa, entalpía, temperatura de rocío, temperatura húmeda y temperatura seca.

Estas propiedades vienen representadas de la siguiente manera en el ábaco psicrométrico:

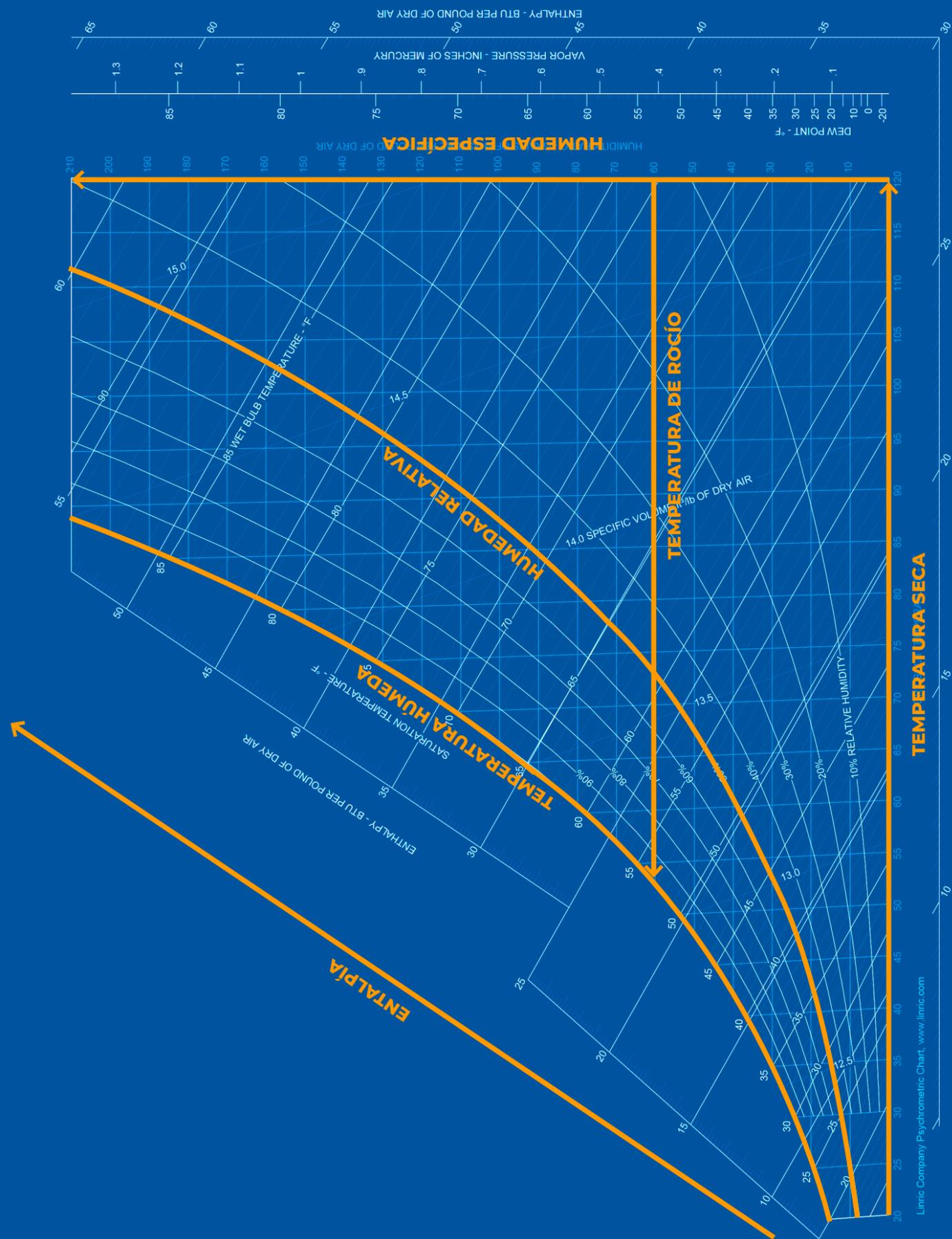


Figura 33. (Izquierda) Ábaco psicrométrico.

Los procesos empleados actualmente para la recuperación de agua dulce del aire y que servirán para clasificar los modelos estudiados, son los siguientes:

» **Refrigeración termoeléctrica:** Para conseguir un descenso de temperatura en un medio, este método utiliza dispositivos termoeléctricos. La termoelectricidad es el campo que estudia los fenómenos en los que aparecen simultáneamente el calor y la electricidad. Dichos dispositivos termoeléctricos, conocidos como células Peltier, funcionan con tres de las principales leyes de la termodinámica, que son las siguientes:

- **Efecto Seebeck:** estipula que la diferencia térmica existente entre dos materiales diferentes conectados a un circuito crea un campo magnético, es decir, aparece un voltaje proporcional a la diferencia térmica. Es la ley en que se basan los termopares.
- **Efecto Peltier:** en el caso de tener dos materiales distintos unidos y hacer discurrir una corriente eléctrica entre ellos, esto generará una absorción o cesión de calor al medio en el que se encuentren. La transferencia de calor puede cambiar de sentido al cambiar la polaridad de la corriente suministrada.
- **Efecto Joule:** es la cesión de calor al medio producida cuando se hace circular una corriente eléctrica a través de un material conductor. Se debe al movimiento de electrones, la energía cinética de estos pasa a convertirse en energía calorífica por la resistencia que sufren los electrones en el medio. El calor cedido depende de la intensidad de la corriente eléctrica, la duración de la corriente y de la resistencia que ofrece el material conductor.

Dado que la forma más asequible, por unidad de superficie y con fines experimentales son las células Peltier, y conocidas las leyes de la termodinámica que influyen directamente a éstas, se pasa a una explicación más detallada de estos elementos.

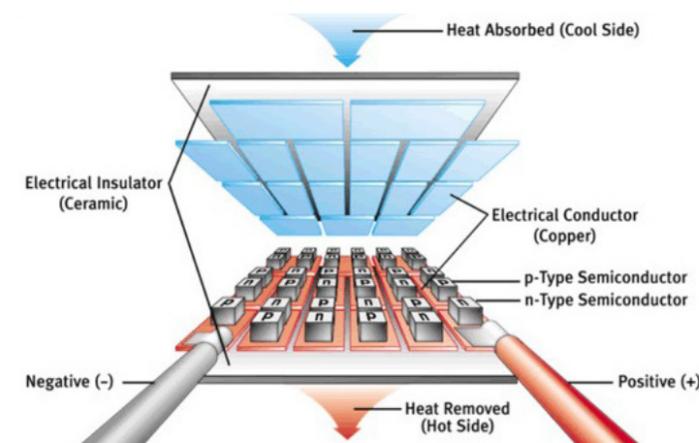


Figura 34. (Derecha) Partes dispositivo termoeléctrico. Célula Peltier.



Figura 35. Célula Peltier.

Las células Peltier están formadas por dos superficies cerámicas colocadas paralelamente, entre ellas se sitúan en la zona central unas uniones de dos materiales semiconductores, y entre las piezas cerámicas y el semiconductor, otras placas de materiales muy conductores, que favorecen el traspaso térmico. La corriente necesaria para su funcionamiento se proporciona a través de dos cables de alimentación, estos dispositivos funcionan con corriente continua.

Cuando circula una corriente eléctrica por las uniones de los materiales semiconductores, se produce un gradiente térmico entre las dos placas cerámicas. Las cuales pueden cambiar de función, es decir, de ceder o extraer calor del medio, cuando se modifica la polaridad de la corriente suministrada.

El funcionamiento de la célula depende de: la intensidad de la corriente que pasa por su interior, de la temperatura ambiente y del gradiente térmico que puede existir entre sus superficies.

» **Fluido refrigerante:** Estos sistemas están desarrollados a partir de la tecnología de la bomba de calor y son los que más progreso han tenido estos últimos años entre los métodos de recuperación de agua dulce del aire.

Su funcionamiento parte de un circuito cerrado por el que circula un refrigerante, es decir, un gas o líquido que tiene la capacidad de transportar eficientemente el calor de un medio a otro. Este circuito está compuesto por los siguientes dispositivos:

- **Evaporador:** intercambiador de calor, en él ocurre el cambio de estado de líquido a gas del refrigerante. Absorbe calor del sistema en el que se encuentra.
- **Condensador:** el mismo sistema que el evaporador, pero en este caso produce el cambio de gas a líquido, cediendo calor al medio.
- **Compresor:** elemento que utiliza energía mecánica para comprimir el fluido refrigerante, produciendo así un aumento de presión y por tanto de temperatura.
- **Válvula de expansión:** dispositivo encargado de regular la presión existente en el fluido entre el condensador y el evaporado. Generando una disminución de presión que conlleva una bajada de temperatura.

Y el proceso que se lleva a cabo en el sistema es el siguiente; se hace pasar un flujo de aire exterior a través del evaporador, en el cual se encuentra el fluido refrigerante a baja temperatura y presión. Al entrar en contacto el aire caliente exterior con los serpentines del evaporador, baja su temperatura por debajo de la temperatura

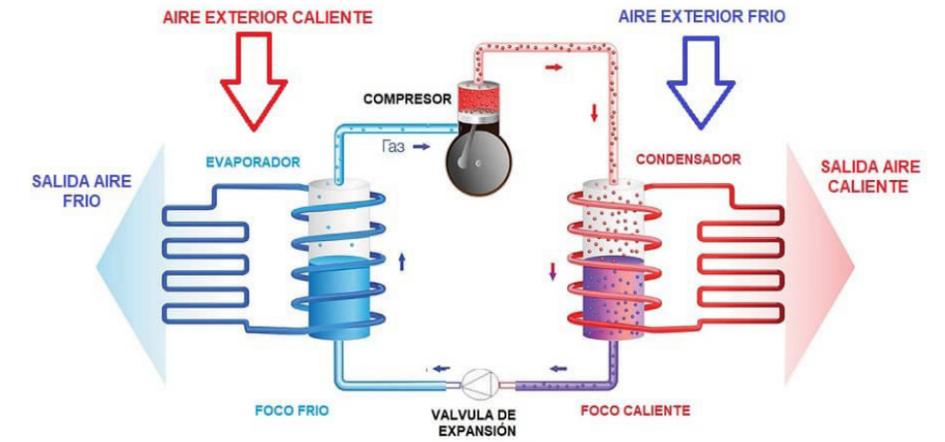


Figura 36. Esquema bomba de calor.

de rocío ya que cede calor al refrigerante, produciéndose la condensación del vapor de agua contenido en el aire.

Posteriormente el fluido pasa al compresor, en el que debido al funcionamiento del compresor se da un aumento de presión y temperatura. Obtenidas estas condiciones en el fluido, se lleva hasta el condensador. El aire frío producido en el evaporador se hace pasar ahora por el condensador donde absorbe el calor del fluido, el que en este punto se encuentra a una temperatura inferior, pero a alta presión.

El fluido refrigerante llega hasta la válvula de expansión donde se produce una pérdida de presión, obteniéndose el fluido a baja presión y temperatura.

Desde este punto el fluido vuelve a pasar por el evaporador y el proceso se reinicia.

» **Enfriamiento evaporativo:** También denominado enfriamiento adiabático, es el proceso que consigue bajar la temperatura del aire a partir de la evaporación del agua. Esto es, haciendo pasar una corriente de aire exterior por unos paneles húmedos.

Se produce un intercambio energético en el aire, el agua contenida en los paneles pasa de estado líquido a gaseoso debido al calor que absorbe del aire. El calor sensible que poseía el aire se convierte en calor latente para producir el cambio de estado, es decir, el calor sensible que es aquel que sentimos disminuye, aumentando el calor latente del medio.

En este proceso aumenta la humedad relativa del aire y disminuye su temperatura, estos valores serán variables en función de la capacidad del aire para absorber humedad. En climas secos donde el aire posee poca humedad y puede absorber mayor vapor de agua, este sistema consigue descender la temperatura en gran medida; mientras en climas húmedos donde el aire no tiene capacidad suficiente para absorber más humedad, el gradiente de temperaturas será menor.

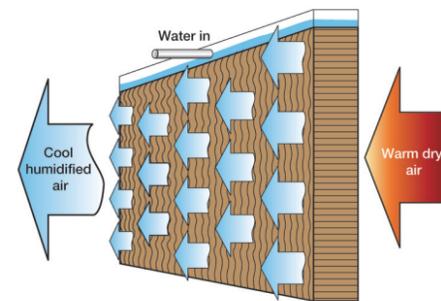


Figura 37. Proceso enfriamiento evaporativo.

Se trata de un sistema que se lleva utilizando miles de años para acondicionar los espacios arquitectónicos. Generando una acumulación de agua, la cual se fue evaporando progresivamente, se conseguía disminuir la temperatura de los espacios circundantes. Es el mismo mecanismo que utiliza el cuerpo humano para refrigerarse, a través de la sudoración.

Aplicando este proceso sobre una superficie, se conseguiría disminuir su temperatura una vez que el agua que se encuentra en su superficie fue evaporada. Pudiendo llegar a bajar la temperatura por debajo del punto de rocío, en función de las condiciones climáticas.

» **Procesos absorción/adsorción - desorción:** Estos procesos ocurren en varias fases. Se utilizan materiales que son capaces de capturar el vapor de agua presente en el aire. Y que posteriormente, debido al aumento de temperatura o disminución de la presión, el vapor de agua es expulsado de dichos materiales, produciéndose la desorción, y que al llegar a una superficie más fría se produce la condensación en ella.

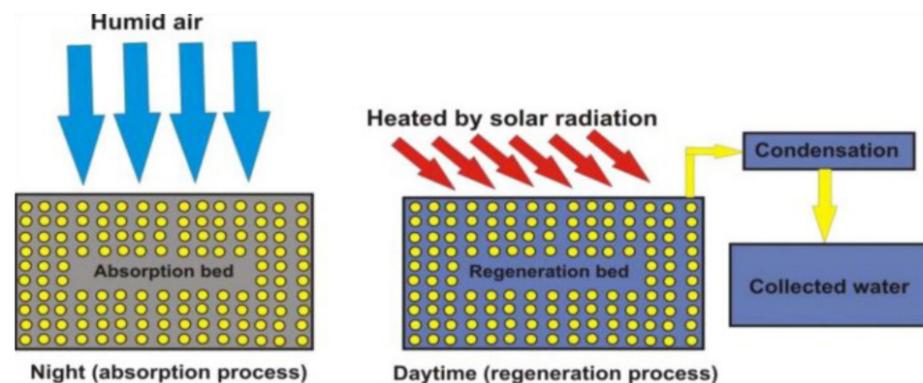


Figura 38. Proceso de obtención de agua por métodos de absorción - desorción.

Las moléculas de agua se adhieren a estos materiales a través de los procesos químicos o físicos de la absorción o la adsorción.

Las diferencias entre la absorción y la adsorción son las siguientes:

- **Absorción:** En este caso, las moléculas del gas que entran en contacto con el material, el cual se encuentra en estado líquido o sólido, se transfieren a su composición, cambiando las propiedades estructurales o de volumen del material absorbente. Se puede producir un proceso de absorción química, donde las moléculas del gas reaccionan químicamente con alguno de los componentes del absorbente, formando una nueva sustancia, o un proceso de absorción física, los cuales se producen por efectos osmóticos que generan que el absorbente pase a un estado más diluido, en el caso del vapor de agua.

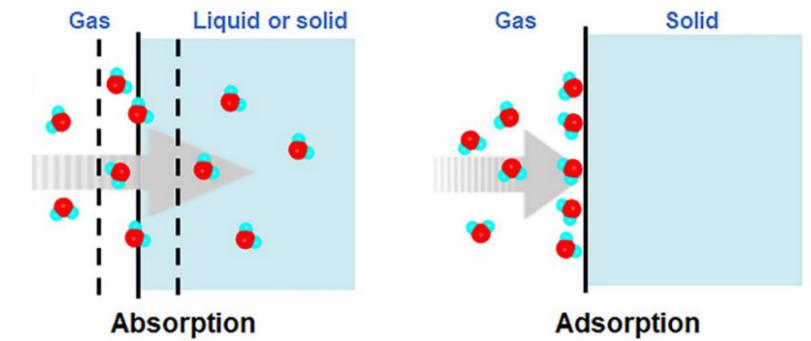


Figura 39. Absorción y adsorción.

- **Adsorción:** Es un proceso superficial, por el cual las moléculas del gas o de un líquido se adhieren a la superficie del material, en estado sólido, formando una película. No altera las propiedades del material adsorbente.

Como en el caso de la absorción, también se puede dar que la adsorción sea de tipo química, las moléculas que se adhieren sufren cambios en su estructura debido a uniones químicas o interacciones electrostáticas, o de tipo físico, las moléculas del gas o líquido se adhieren a la superficie sin sufrir cambios en su estructura, se produce esta adhesión porque existen fuerzas de atracción, de van der Waals, débiles entre las moléculas del adsorbente y el adsorbato.

» **Terreno:** Más concretamente este método se basa en la utilización de la diferencia térmica existente entre el terreno y el aire que lo rodea. En este caso, la fuente de energía utilizada es el sol. La radiación solar aumenta la temperatura de ambos medios, sin embargo, la forma en que los afecta es muy distinta a causa de la conductividad térmica de cada material.

El suelo se ve afectado tanto por los cambios térmicos que ocurren diariamente como por los estacionales, afectando los primeros a la capa más superficial del terreno, hasta una profundidad de 50cm, mientras los segundos ocurren a un nivel más general.

Las variaciones de temperatura serán más elevadas en función de la zona climática del planeta; en climas secos, donde el suelo tiene una baja presencia de agua, la superficie se calentará rápidamente, mientras que las capas inferiores mantendrán una temperatura más baja. Esto se debe a que el aire ocluido entre los diferentes componentes del suelo tiene baja conductividad térmica.

En climas húmedos ocurrirá lo contrario, el agua que posee el suelo, al ser mejor conductor térmico, permitirá que la temperatura se iguale entre las diferentes capas.

En función de la temperatura del aire exterior, puede llegar a ocurrir que la temperatura de capas profundas del terreno sea inferior al punto de rocío, con lo que, si el aire exterior circulase entre estas capas, se daría la condensación del vapor de agua que contiene.

» **Compresión del aire:** Este proceso para conseguir agua líquida del aire se basa en el aumento de presión de un volumen confinado de gas. El ascenso de la presión lleva consigo una elevación de la temperatura, explicado por la Ley de Gay-Lussac. Además, este incremento de presión producirá que la condensación del vapor de agua se de a mayor velocidad, ya que la temperatura de rocío es mayor por el aumento de la temperatura total del volumen.

Sin embargo, este método puede tener algunas desventajas cuando se trata de una mezcla de aire con vapor de agua. Cuando el vapor de agua comienza a condensarse dentro del volumen confinado, el líquido obtenido también iniciará la evaporación debido al incremento de la temperatura. Llegando un momento en el que se produzca el equilibrio entre las fases líquida y de vapor, la velocidad de evaporación será igual a la de condensación, habiéndose obtenido el máximo volumen de agua líquida en esas condiciones.

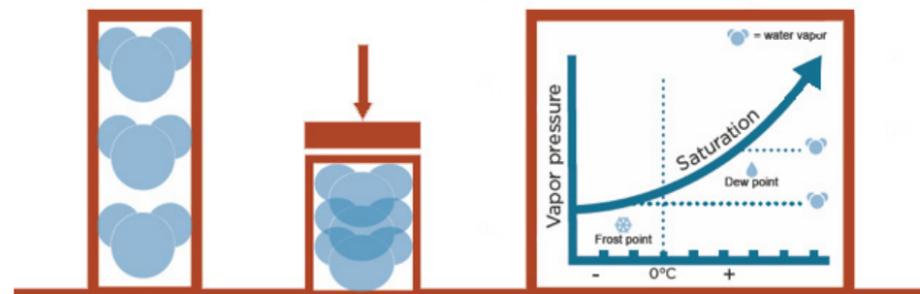


Figura 40. Proceso de condensación a partir de la compresión del aire.

4.2. AGUA LÍQUIDA ATMOSFÉRICA (nubosidad y niebla)

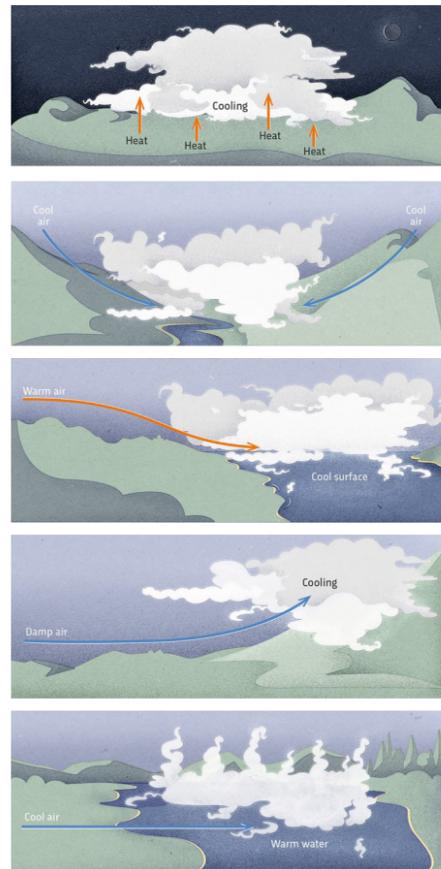


Figura 41. Diferentes tipos de niebla y sus procesos de formación.

Las nubes son masas de aire en las que se encuentra una gran cantidad de gotas de agua en estado líquido, cristales de hielo o ambas formaciones en algunas ocasiones. La presencia de estas partículas hace visible estos volúmenes de aire, que aparecen suspendidos en la atmósfera, en su capa más baja, la troposfera.

Las nubes se producen cuando el agua que se ha evaporado de la corteza terrestre se condensa en el aire al aumentar su altitud. Esta condensación se produce sobre los núcleos de condensación que se encuentran en la atmósfera, son partículas higroscópicas que absorben la humedad y permiten que se formen las gotas en ellos, los más comunes son las partículas de sal, el polvo o los productos de la combustión.

Existen diferentes tipos de nubes en función de su composición y dimensión. Las cuales varían por las condiciones atmosféricas en las que se producen, debido a la presión, viento, humedad y temperatura.

Sin embargo, para la recuperación de agua dulce del aire, el fenómeno que influye es el de la niebla. Este fenómeno ocurre cuando nubes de poca densidad aparecen a nivel del suelo; debido a su poca altitud, es posible el aprovechamiento de estas masas de agua.

La niebla se forma cuando el aire caliente entra en contacto con la superficie fría de la Tierra y la humedad relativa del aire, que se encuentra próxima al 100%, se condensa súbitamente debido al cambio temperatura. Esto hace que la nube se produzca a una altura baja.

4.2.1. Métodos de recuperación de la niebla

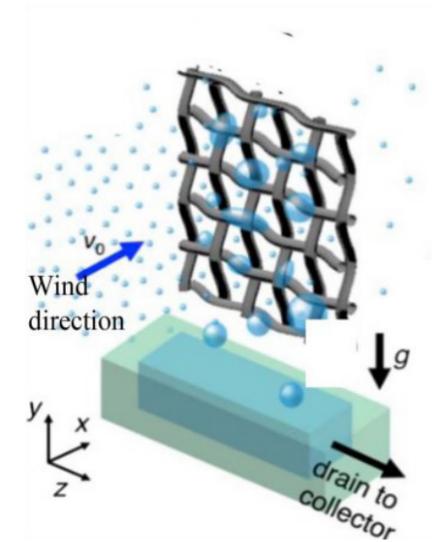


Figura 42. Adhesión de gotas en la red y recogida en colector inferior.

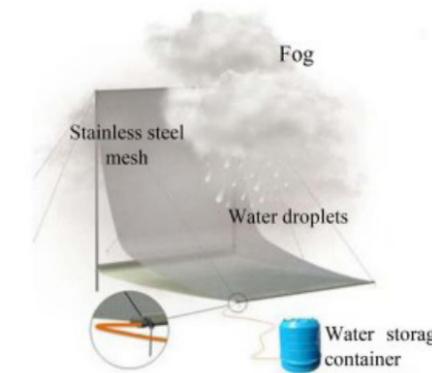


Figura 43. Esquema del sistema de redes.

Puesto que la niebla es un fenómeno que se da con agua en estado líquido, para su recuperación no es necesario que se produzca un cambio de estado y, por tanto, no se requiere un aporte de energía externa. Por esta última condición, es por la que se conoce a la recuperación de agua de niebla como un método pasivo para la obtención de agua dulce del aire. Siendo el método más tradicional de los utilizados con dicho objetivo.

Para la recolección de estas pequeñas gotas, el único requisito es la disposición de una superficie donde las gotas puedan adherirse. Con este fin se sitúan diferentes tipos de redes, a través de las cuales, por efecto del viento, pasan las nubes que forman la niebla. Cuando esto ocurre, las pequeñas gotas que forman el fenómeno quedan adheridas a la superficie de la red, mientras el volumen de aire pasa a través, evitando que se produzca un efecto de vela de barco al chocar con la superficie.

Una vez que las gotas han quedado atrapadas en la red, por efecto de la gravedad terrestre, irán creciendo, uniéndose entre ellas, y consiguiendo sobrepasar el tamaño crítico con el cual serán capaces de romper la tensión superficial y escurrirán por la superficie de la red hasta ser recogidas en la parte inferior de esta, en un colector.

Las características de las redes utilizadas dependen de las condiciones climatológicas en las que se sitúen, es decir, el tipo de niebla que se dé, la cantidad de esta y la velocidad del viento. Es por ello que en los últimos años se han estudiado diferentes materiales y diferentes grados de opacidad de las redes. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, este método, al igual que los que producen la condensación, está basado en la superficie utilizada. Cuanto mayor sea esta superficie, mayor cantidad de agua se podrá obtener.

Clasificación de Sistemas

05

La definición del marco teórico del tema, con sus diferentes categorías según el estado físico del agua y sus correspondientes procesos para recuperarlo en estado líquido, ha permitido clasificar y diferenciar de forma clara los sistemas existentes en la actualidad y que serán estudiados más en profundidad en puntos sucesivos.

Puesto que se trataba de catalogar los sistemas marcando los puntos en común a todos ellos, en primer lugar, se clasificarán de forma general en función del estado del agua con el que trabajan, para pasar posteriormente a una clasificación específica dentro de estas dos categorías. En estas se incluirán las condiciones de trabajo de cada uno de los sistemas, así como los resultados aportados, los elementos que los componen y el método de recuperación de agua que utilizan, que será la forma principal de clasificarlos.

5.1. CLASIFICACIÓN MÉTODOS DE RECUPERACIÓN DE AGUA

ESTADO FÍSICO DEL AGUA	FORMA DE RECUPERACIÓN	MÉTODO DE RECUPERACIÓN	PROTOTIPOS
Líquido	Adhesión de las gotas a la superficie - Tensión superficial	Pasivo	Sistemas de redes tradicionales Warka Water Tower [Arturo Vittori] Watair [Eval Malka y Joseph Cory] DropNet Fog Collector [Imke Hohler]
Vapor de agua	Condensación	Pasivo	Glass pyramid collector [Kabeel] Collector system [A.M. Hamed] Trapezoidal prism [G.E. William, M.H. Mohamed, M. Fatouh] Solar glass desiccant box [M. Kumar, A. Yadav] Liquid desiccant unit [H.I. Abualhamayel, P. Gandhidasan]
		Con aporte energético	Airdrop [Edward Linacre] EoleWater [Marc Parent] Sunglacier [Ap Verheggen] A2WH [Joe Ellsworth]

5.2. CLASIFICACIÓN MODELOS QUE PRODUCEN CONDENSACIÓN

PROTOTIPO	HUMEDAD RELATIVA	PROCESO DE CONDENSACIÓN	CONDICIONES DEL ENTORNO	EQUIPO NECESARIO	CANTIDAD DE AGUA PRODUCIDA	DIMENSIONES
Hoja artificial [Sunglacier]	En torno a 40 %	Fluido refrigerante	Temperaturas entre 30 - 50°C Climas desérticos	Paneles solares fotovoltaicos + dispositivos termoeléctricos	Losa de hielo de 10 cm en lado inferior Objetivo: 1 m ² de hielo por cada 10 m ² de paneles solares	Superficie mayor a los 200 m ²
Water Cube [Sunglacier]	No se conoce esta información	Refrigeración termoeléctrica	Pruebas de laboratorio. No se conoce esta información	Paneles solares fotovoltaicos + dispositivos termoeléctricos + cono de aluminio	No se conoce esta información	Cubo con un volumen de 0.50 m ³
Modelo dc03 [Sunglacier]	No se conoce esta información	Refrigeración termoeléctrica	Pruebas de laboratorio. No se conoce esta información	Panel fotovoltaico + dispositivo termoeléctrico + disipador de calor + cono de aluminio	15 cl de agua en 6 horas de funcionamiento	Aproximadamente 1 m de alto
Water Maker [Sunglacier]	No se conoce esta información	Cascada creciente	Pruebas de laboratorio. No se conoce esta información	Panel fotovoltaico + batería + bomba + dispositivo termoeléctrico + tubo de metacrilato + depósito de agua + 2 L de agua iniciales	No se conoce esta información	Aproximadamente 1 m de alto
Pabellón Países Bajos Expo Dubái 2020 [Sunglacier + V8 architects]	70 - 90 %	Cascada creciente + fluido refrigerante	Temperatura ambiente > 50°C Climas secos y calurosos	Paneles solares fotovoltaicos + vidrios fotovoltaicos + 10 L de agua iniciales + depósito de agua	50 L/h	Edificio - pabellón expositivo
Wind Turbine "EoleWater" [Marc Parent]	30 %	Fluido refrigerante	Velocidad de viento > 35 km/h	Turbina eólica + elementos bomba de calor.	1000 L/día. Prueba realizada en Abu Dhabi: 62 L/h	Aerogenerador. 24 m de altura
Airdrop [Edward Linacre]	No se conoce esta información	Terreno	Entornos áridos y calurosos	Panel solar + pequeña turbina.	11.5 cl de agua por cada 1 m ³ de aire 1 L/día	Prototipo de aproximadamente 2 m alto
Colector solar desecante	70 - 90 %	Procesos absorción o adsorción	Climas desérticos	Caja de cristal + material absorbente o adsorbente + colector de recogida de agua.	1 L/m ² cuando la concentración del material es de 30%.	Similar a un panel solar
A2WH [Joe Ellsworth]	No se conoce esta información	Procesos absorción o adsorción	Climas secos	Caja de metacrilato + panel solar fotovoltaico + ventilador + baterías + material absorbente.	No se conoce esta información	Prototipo de aproximadamente 0.70 m x 0.50m x 0.50 m

5.3. CLASIFICACIÓN MODELOS DE RECOGIDA DE AGUA LÍQUIDA

PROTOTIPO	CONDICIONES DEL ENTORNO	EQUIPO NECESARIO	CANTIDAD DE AGUA PRODUCIDA	DIMENSIONES
Sistemas tradicionales de redes	Zonas templadas Lugares con altas probabilidades de niebla densa	Redes + colector inferior de agua	Grecia : redes de 1 m ² : 29 L/día Redes de 40 m ² : 170 - 200 L/día	No específico
Warka Water Tower [Arturo Vittori]	Condiciones de humedad muy alta y lugares donde se produzcan nieblas densas	Estructura de bambú + mallas plásticas de poliéster + tanque de recogida de agua	99 L/día	10 m alto x 4.2 m ancho
DropNet Fog Collector [Imke Hohler]	Emplazamientos con grandes acumulaciones de niebla Climas áridos y zonas de costa en altitudes entre 400 y 1200 m	Mallas plásticas tupidas + estructura de aluminio + tanque inferior	10 - 20 L/día por cada metro cuadrado	3 m de altura x 4.5 m de anchura
Watair [Eval Malka y Joseph Cory]	Para cualquier entorno, las pruebas se realizaron en un entorno montañoso	Estructura tubular de aluminio + tela	48 L	96 m ²

Modelos Estudiados

06

Tras clasificar los diferentes modelos de obtención de agua dulce del aire en función de los procesos en que se basan para funcionar y realizar una comparación de sus características y resultados aportados, se continúa con una explicación más detallada de cada uno los sistemas, que permitirá adentrarse en su funcionamiento, así como en las similitudes y diferencias existentes entre ellos.

6.1. SISTEMAS DE OBTENCIÓN DE AGUA POR RECOGIDA DE NIEBLA

En lo que se refiere a estos sistemas, que simplemente recogen las gotas de agua líquida presentes en el fenómeno de la niebla como se ha explicado en el marco teórico, se hará un breve desarrollo de los modelos más destacables, con la idea de aportar una pequeña visión de cómo se ha avanzado en este sistema que, con mecanismos más sencillos, se ha utilizado durante cientos de años.

6.1.1. Sistemas tradicionales de redes



Figura 44. Redes situadas en Marruecos.

Son los modelos más sencillos de esta categoría. Están formados por una malla, con una opacidad entre el 70 y 80% [Kaja, R. 2012], cuya superficie se coloca en dirección perpendicular al viento y que se sujeta con una estructura o simplemente dos postes de madera o metal. En su parte inferior se dispone un tanque que acumula las gotas de agua recogidas. Estas quedan adheridas a los hilos de la red y según van descendiendo por el propio efecto de la gravedad, van uniéndose a otras y aumentando su tamaño, reuniéndose volúmenes de agua que varían en función del emplazamiento.



Figura 45. Redes situadas en Perú.

Algunos de los resultados obtenidos con ese sistema son los siguientes: en Chile, donde la población local utiliza este sistema desde hace varias décadas, se han llegado a recoger 3 L de agua por cada metro cuadrado de red al día en la estación húmeda. Mientras que, en Perú, se han recolectado 9 L por cada metro cuadrado de superficie al día [Kaja, R. 2012], quedando así demostrado que la geografía donde se disponga el sistema, así como el clima al que este expuesto, son variables críticas.

También se conocen datos de la zona oriental de Grecia, donde científicos alemanes desarrollaron un proyecto en 2005 que consistía en la medición del volumen de agua que podían recoger con estos sistemas. Consiguiendo resultados de hasta 29 L/día con una red de un metro cuadrado de superficie y entre 170 y 200 L con redes de 40 m² de área.

6.1.2. Warka Water Tower (Arturo Vittori)

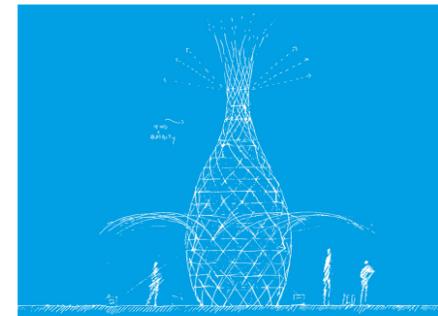


Figura 46. Croquis Warka Tower.

Se trata de un conjunto de 12 sistemas de recolección de niebla y agua de lluvia desarrollados por el arquitecto italiano Arturo Vittori desde el año 2012. Aunque no fue hasta el año 2015 cuando instaló su primer prototipo en Etiopía.

Todos sus modelos pretenden trabajar de forma autónoma, suministrando agua en aquellos lugares que no poseen las infraestructuras necesarias, es por ello que se realizan con materiales autóctonos y con procesos constructivos sencillos, que puedan enseñarse a los ciudadanos de estas zonas.

Este modelo se compone de una estructura de bambú de 10 m de altura y 4.2 m de ancho sobre la cual se coloca una malla de políester. Esta piel exterior permite el paso de la niebla, la cual deja depositadas las gotas de agua en la superficie. Además, la parte superior de la estructura tienen forma de embudo, lo cual favorece la recogida del agua de lluvia, esta agua al entrar en la estructura cae sobre una lámina de políester que la recoge y conduce hacia el depósito situado en la parte inferior.

Estos prototipos son capaces de aportar un volumen de agua en torno a los 99 L al día, siempre en función de las condiciones de niebla y rocío que se den en el lugar.

Aunque en varias de las fuentes se habla de procesos de condensación y evaporación que suceden en las torres, en estos modelos no se producen estos fenómenos, trabajan únicamente a partir de la gravedad terrestre que hace discurrir el agua hacia la parte inferior. La condensación y evaporación no ocurren, pues como se viene explicando, la niebla está compuesta por agua en estado líquido.



Figura 47. Warka Tower 3.

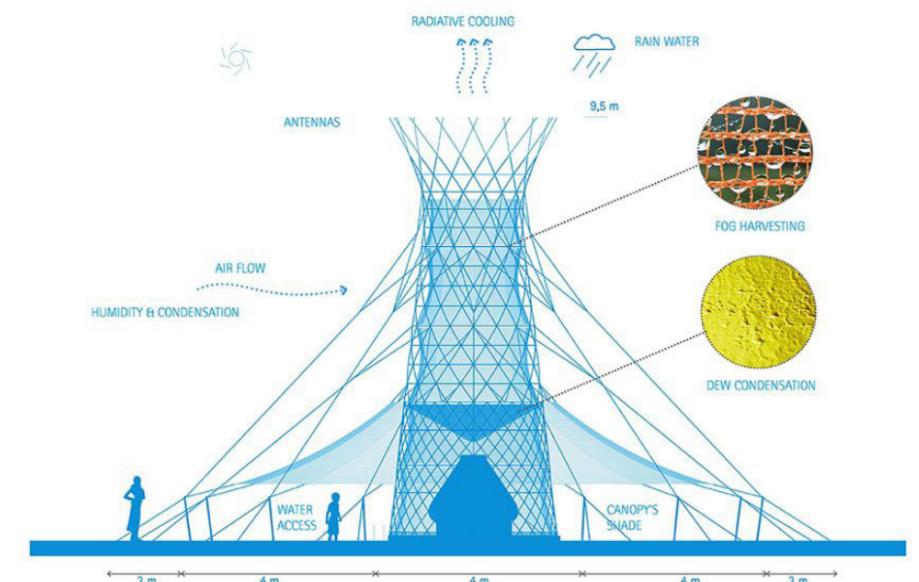


Figura 48. Estructura, materiales y funcionamiento Warka Tower.

6.1.3. DropNet Fog Collector (Imke Hohler)



Figura 49. Recogida de agua en prototipo DropNet.

Es un sistema de recolección de agua de niebla desarrollado por el diseñador Imke Hohler. El conjunto tiene forma de tienda de campaña con unas dimensiones de 3 m de altura por 4.5 m de ancho, lo que le confiere una gran superficie para que las gotas se adhieran.

La intención de Imke era realizar una estructura ligera y fácil de montar que pudiera aguantar vientos fuertes sin que esto influyese en el soporte y en la tensión apropiada de la malla. Las características que distinguen a este modelo se basan en la utilización de perfiles de aluminio para la estructura, la cual se puede adaptar a terrenos llanos o inclinados, y el uso de mallas de polipropileno que se curvan en dos direcciones para mantener la tensión de esta frente a la fuerza del viento.

Otros componentes de este sistema son los colectores inferiores que recogen el agua y que poseen unos filtros para purificarlo, estas tuberías conducen el agua hacia los depósitos situados en la parte baja de la estructura.

Aunque todos los sistemas de recogida de niebla deben situarse en condiciones similares, el autor especifica que las condiciones más favorables para el funcionamiento del modelo son los climas áridos y las zonas costeras en altitudes entre 400 m y 1200 m.

Los volúmenes de agua que ofrece el prototipo están en torno a los 10 o 20 L al día por cada metro cuadrado de superficie.



Figura 50. Detalle doble curvatura redes.



Figura 51. Propuesta de implantación de los prototipos.

6.1.4. Watair (Eval Malka y Joseph Cory)



Figura 52. Propuesta de implantación

Este proyecto desarrollado por los arquitectos Eyal Malka y Joseph Cory fue diseñado como una pirámide invertida sobre cuyas caras se recogen las gotas de rocío que se crean en el ambiente.

Esta estructura de forma simple está realizada con perfiles tubulares de aluminio de secciones pequeñas y paneles transparente que cubren las caras de la pirámide. Se entiende que estos paneles están creados con un tipo de malla o tela que permite el paso del aire recolectando las gotas de agua que este transporta, sin embargo, no queda del todo claro según las fuentes consultadas. Aun así, la forma en que se disponen estos facilita la recogida del agua por efecto de la gravedad hacia el centro del dispositivo donde se sitúa un depósito de almacenaje; estas formas se basan en formas vegetales como las de las hojas o los árboles, las cuales actúan de manera muy eficiente para que el rocío se deposite en ellos.

En cuanto a las localizaciones, sus creadores defienden la posibilidad de implementarlos tanto en zonas rurales como urbanas debido a su diseño, puesto que la parte que se encuentra debajo de los paneles puede servir como refugio a las personas.

Los resultados obtenidos con este prototipo también son muy esperanzadores, como en los casos anteriores. Es capaz de recoger 48 L de agua durante las primeras horas del día cuando se dispone de una superficie de 96 m².



Figura 53. Prototipo Watair.



Figura 54. Propuesta de implantación urbana.

6.2. SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE AGUA A PARTIR DEL VAPOR DE AGUA

Por otra parte, los modelos explicados a continuación, pertenecen todos ellos al proceso de recuperación de agua líquida a partir del vapor de agua del aire. Como este constituye el tema central de la investigación, se han estudiado los prototipos de forma detallada y destacando aquellos que resultan más relevantes entre todos los desarrollados hasta el día de hoy, ya sea por las tecnologías que utilizan o por las posibilidades que ofrecen para un desarrollo futuro, quizás más próximo a la arquitectura.

6.2.1. Sunglacier (Ap Verheggen)

El proyecto Sunglacier fue iniciado por el artista neerlandés Ap Verheggen en el año 2010, y posteriormente, en el año 2018, creó la empresa Sunglacier Technologies. Que le permitió distinguir entre su trabajo más artístico y las tecnologías patentadas en torno a la recuperación de agua.

El objetivo principal de este proyecto, y de sus posteriores dispositivos, es la obtención de agua de la atmósfera a través de la condensación. Buscando así posibles soluciones a uno de los grandes problemas mundiales de la actualidad, que es la falta de agua dulce en el planeta.

Para conseguir este propósito basa todas sus tecnologías en tres principios naturales que se encuentran al alcance de todos: el sol, la gravedad y el aire. Es decir, los modelos que desarrollan buscarán siempre aprovechar la energía solar para su funcionamiento, permitiendo esto que puedan trabajar de manera autónoma y que se amplíe la zona geográfica donde se puedan implementar. También, para facilitar la recogida del agua y evitar tener que añadir gastos energéticos al sistema, como por ejemplo de bombas de circulación,

utiliza la gravedad terrestre para hacer discurrir el agua hasta la parte inferior, donde podrá ser recogida. Por último, es indiscutible que utiliza el aire para todos sus modelos, pues es el medio de donde obtiene el agua, pero además lo utiliza como medio de refrigeración en aquellos dispositivos de los que debe disipar el calor producido por sus componentes.

A continuación, se explican algunos de los modelos diseñados por Ap Verheggen, desde una escala pequeña, hasta la implantación de prototipos a gran escala dentro de arquitecturas actuales.

HOJA ARTIFICIAL

El primero de los modelos realizados por el artista neerlandés, en el año 2011, y que mantiene un carácter escultórico y proyectual; es la creación de una superficie que simula la forma de una hoja de árbol. Se eligió esta forma ya que la superficie de una hoja es la construcción natural más eficaz para captar la radiación solar.

El objetivo era colocarlo en el desierto y conseguir crear hielo a partir de la condensación del agua presente en el aire. En este proyecto, contaron con la participación de la empresa Cofely Refrigeration, una empresa especializada en sistemas de refrigeración.

Este prototipo trabaja mediante un sistema de fluido refrigerante y está compuesto por una superficie superior de paneles fotovoltaicos de 200m² que suministra la energía necesaria al equipo., una superficie inferior de aluminio donde se condensa el vapor de agua y que se mantiene en sombra debido a la propia forma de la hoja y los elementos que forman el circuito de refrigeración (condensador, evaporador, compresor y válvula de expansión) que permiten enfriar el metal por debajo de la temperatura de rocío.

Se hicieron ensayos en laboratorio del sistema, simulando las condiciones climáticas existentes en el desierto de Egipto. Para ello, utilizaron un humidificador, que produciría la humedad existente en el ambiente, y un ventilador que simularía las corrientes de viento que existen en el desierto.

Con estas condiciones, fueron capaces de crear una losa de hielo de 10 cm en el lado inferior de la hoja, a una temperatura de 30°C. La idea que

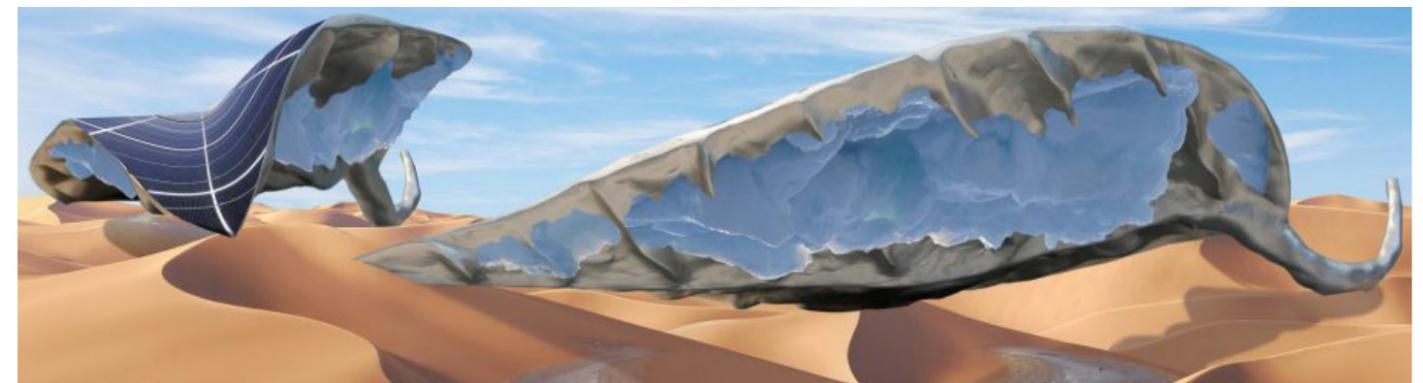


Figura 55. Propuesta hoja artificial.

buscaba generar Ap Verheggen es que esta agua congelada, cambiaría a fase líquida debido a las altas temperaturas existentes en el desierto y crearía charcos de agua en el suelo, simulando un oasis.

Ap Verheggen afirma que, en unas condiciones climáticas más cálidas se podría llegar a crear una capa de hielo mayor, por ello propusieron elevar la temperatura del laboratorio a 50°C. Pero los resultados obtenidos en estas condiciones no se conocen.

El objetivo era crear 1 m² de hielo por cada 10 m² de paneles solares que componen el modelo. El único problema que encontraron fue que la eficiencia de los paneles flexibles que utilizaban para adaptarlos a la forma de hoja es mucho menor a la de los planos, por lo que en este caso la forma de hoja no beneficiaría a la obtención de una cantidad de energía mayor, por lo menos hasta que la tecnología de los paneles flexibles esté más desarrollada.

MODELO dc02 - WATER CUBE

Tecnología creada en el año 2016. Se trata de un cubo de 50 cm² de superficie de cara, hecho en acero inoxidable y recubierto con células fotovoltaicas en su cara superior y en dos de las laterales. Las otras dos caras laterales están abiertas y en el interior del cubo se coloca un cono invertido.

Los paneles fotovoltaicos alimentan un elemento de refrigeración que está conectado al cono de aluminio y produce el descenso de temperatura de este. Por las dimensiones del modelo y lo que se puede observar en las diferentes imágenes publicadas, se cree que el proceso de condensación lo producen elementos termoeléctricos, esto es, células Peltier. Además, la rendija existente entre las células fotovoltaicas superiores y el marco donde se sitúa el cono plantea la posibilidad de un flujo de aire para la disipación del calor.

El aire del ambiente entra en contacto con su superficie, y se produce la condensación del vapor de agua existente en él. Esta agua condensada, precipita hacia el extremo inferior de la superficie cónica y se recoge por medio de la gravedad en un recipiente colocado en la parte baja del cubo.

El objetivo que buscan conseguir con este modelo es enfriar el cono por debajo de la temperatura de rocío, sin llegar a bajar de los 0°C para que el agua no se congele en él, empleando la menor cantidad de energía posible.

Después de varias pruebas del dispositivo, se concluyó que la potencia que se requería para enfriar el cono era de 25 W, mientras que las superficies de paneles solares eran capaces de producir 40 W. Por lo tanto, la energía restante se acumula en baterías para ser utilizada cuando las condiciones atmosféricas no permitan el correcto funcionamiento de las células.



Figura 56. Water Cube.



Figura 57. Water Cube.

MODELO dc03



Figura 58. Modelo dc03

Prototipo diseñado en el año 2017 que se basa en los principios de refrigeración termoeléctrica con la utilización de células Peltier.

Dicha célula Peltier tiene una potencia de 18 kW, y está alimentada por paneles solares fotovoltaicos con una potencia entre 30-50 W. Los cuales alimentan la célula durante 6 horas al día. La célula comienza a funcionar cuando la potencia solar producida es mayor a 15 W.

La célula Peltier es un componente electrónico que crea una diferencia máxima de temperatura entre su cara caliente y su cara fría de 67°C. Este proceso permite enfriar un cono de aluminio por debajo de la temperatura de rocío del ambiente, haciendo que el agua condense en su superficie.

La empresa ha ensayado diferentes formas para la superficie de enfriamiento, considerando como la más eficiente la forma de esfera, pues es la forma que cuenta con una mayor superficie en el volumen menor. Por ejemplo, teniendo el mismo volumen que el cono, la superficie sería mayor. Además, que el espacio que ocuparía en el prototipo sería menor.

El agua condensada discurre por la superficie del cono gracias a la gravedad terrestre y es recogida en un recipiente situado en la parte inferior del modelo, llegando a recolectar 15 cl. de agua en las 6 horas de funcionamiento de la célula.

Por otra parte, el calor acumulado en el lado caliente de la célula Peltier, debe ser disipado para evitar problemas de sobrecalentamiento, que reducirían la eficacia del modelo. Para ello, el modelo se ha pensado con un sistema de disipación a través de unos "tubos de calor". A esto tubos se les añade unas aletas metálicas que aumentan la superficie que está en contacto con el aire y permite mejorar la eficiencia del disipador. Además, se estudió la posibilidad de colocar una superficie reglada envolvente a la parte superior del modelo para forzar en mayor medida el flujo natural del aire.



Figura 59. Modelo dc03.

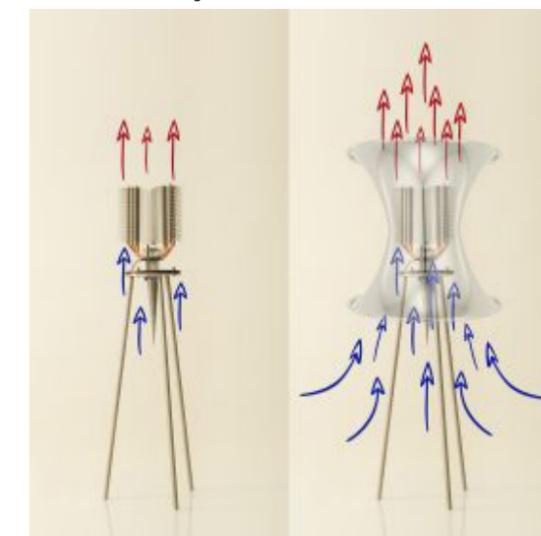


Figura 60. Superficie reglada

SCULPTURE TM01 - WATER MAKER



Figura 61. Sculpture TM01.

Diseñado en el año 2017, este sistema se basa en la recuperación de agua del ambiente a partir de una cantidad de agua inicial de 2 L.

El modelo cuenta con las siguientes partes: un panel fotovoltaico, una pequeña batería para acumular la energía producida, una bomba, un enfriador que a falta de mayor información se presupone constituido por una o varias células Peltier y un depósito de agua para acumular tanto el agua que requiere el dispositivo para funcionar como el agua obtenida.

La energía eléctrica producida por el panel solar fotovoltaico se acumula en la batería y sirve para alimentar los dispositivos enfriadores basados en la tecnología termoeléctrica y la bomba de recirculación.

El agua inicial se enfría por debajo de la temperatura de rocío al entrar en contacto con la cara fría de la célula Peltier o la superficie que esté en contacto con esta, para después elevarse hasta el punto superior del prototipo con la bomba, donde se pulveriza por las paredes interiores del cilindro. El objetivo del volumen de agua inicial es la de enfriar las caras del cilindro.

Estas gotas de agua fría discurren por el interior del tubo, enfriando la superficie de cristal. Esto hace bajar también la temperatura en el interior del tubo y se produce un fenómeno de succión del aire caliente exterior. Creando una corriente de aire entre el interior y el exterior del cilindro.

El aire que entra por la parte superior, caliente, se enfría al pasar por el interior del tubo. Al disminuir su temperatura por debajo del punto de rocío, se produce la condensación del vapor de agua que posee, sobre la superficie interior del cristal que está fría debido al agua que discurre por ella. Estas nuevas gotas creadas se unen a las del agua inicial, aumentando el volumen de agua. El aire frío resultante sale del cilindro por la parte inferior, creando un ciclo de convección natural.

La recogida del agua inicial y las gotas condensadas se produce en la parte inferior del prototipo. Se compone de dos recipientes concéntricos. Uno central con el volumen del agua inicial y otro con



Figura 62. Depósito Sculpture TM01.



Figura 63. Pulverizador Sculpture TM01.



Figura 64. Sculpture TM01.

un volumen mayor, creando una ranura de separación entre ambos. Cuando se recoge el volumen total de agua (inicial + condensada), el volumen de agua que se ha producido rebosaría del recipiente central y comenzaría a llenar el segundo. Siendo el volumen de agua recogida en el recipiente exterior, el del agua obtenida por la condensación.

Debido a la conductividad térmica del cristal, se podría llegar a producir la condensación del vapor de agua también por la cara exterior del cilindro. Puesto que esta superficie también se encontraría a menor temperatura y en contacto directo con el aire.

El planteamiento de este modelo lleva a pensar otras propuestas, como podría ser, utilizando un cilindro con doble vidrio y que posea una cámara de aire central, se podría hacer pasar el agua inicial por este espacio. De esta forma, se crearía una cortina continua de agua, aumentando la superficie fría, esto haría más eficiente la condensación. Y podría crearse un circuito cerrado con el agua inicial, reduciéndose las pérdidas térmicas, ya que no quedaría en contacto directo con el aire exterior en el recipiente de recogida.

PABELLÓN DE LOS PAÍSES BAJOS EXPO DUBÁI 2020



Figura 65. Cono central.

El último sistema a conocer de la empresa SunGlacier, tiene un cambio de escala en lo referente a los anteriores. Se pasa de una pequeña escala, de dispositivo, en los casos ya explicados, a una escala mucho mayor. Se trata de un modelo de su tecnología incorporada en el pabellón de los Países Bajos de la Expo de Dubái 2020.

El pabellón fue diseñado por el estudio de arquitectura V8 Architects (Países Bajos) y se encontraba dentro del distrito de sostenibilidad de la exposición. Es por ello que la idea en torno a la cual se diseñó el pabellón fue: “agua - energía - comida”. Con esto, los arquitectos buscaban crear un biotopo, un ecosistema en el desierto, una arquitectura capaz de generar su propia agua, energía y comida. Además, considerando que la arquitectura debía tener carácter temporal y sostenible, se creó con materiales reutilizables y reciclables, que permitieran no dejar ninguna huella cuando el pabellón fuera desmontado. Y así ha sido, una vez terminada la exposición, todos los elementos utilizados en el pabellón han sido destinados a otros usos o devueltos al ciclo de reciclaje.

Los arquitectos buscaban que dentro del pabellón se pudieran observar fenómenos como la condensación, la energía solar, la fotosíntesis, la producción de hongos y la transmisión de la temperatura.

El diseño del pabellón se basa en un volumen rectangular en cuyo centro se encuentra un cono del que sobresale una chimenea que llega hasta la cubierta del edificio. Esta diferencia de espacios permite mostrar los procesos mencionados anteriormente.

En el interior del espacio cónico central crecen diferentes variedades de hongos y en su exterior otros tipos de plantas comestibles, creando así alimento, una de las ideas principales del proyecto. Otro de los puntos a destacar, es la producción de energía propia que tiene el pabellón, a través de paneles solares orgánicos situados en la cubierta a modo de lucernarios. Estos paneles, diseñados por Marja Van Aubel, permiten la

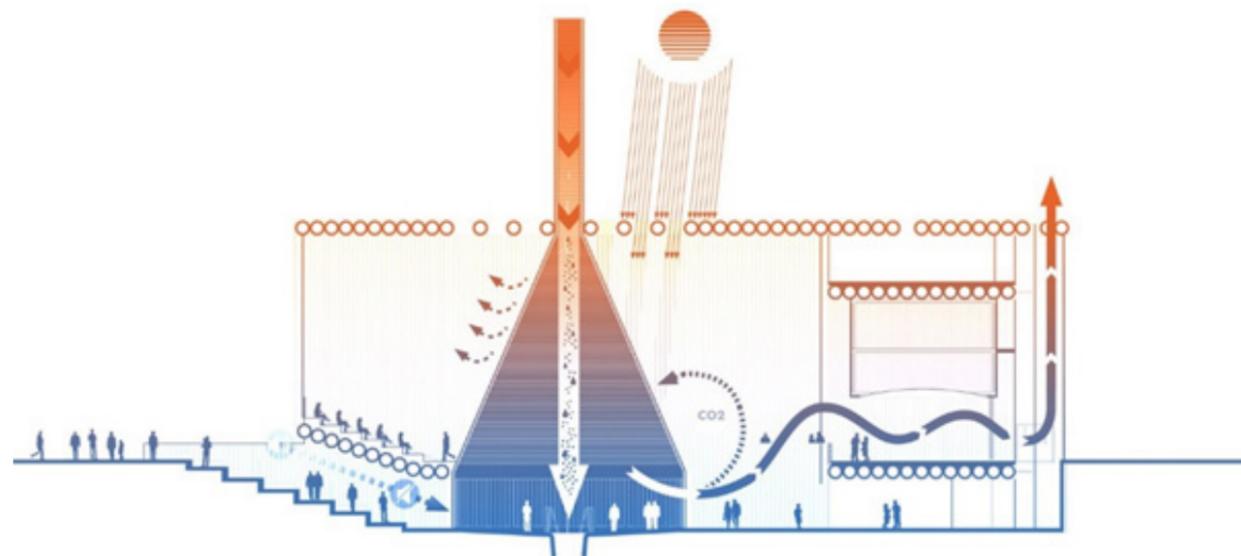


Figura 66. Funcionamiento pabellón.

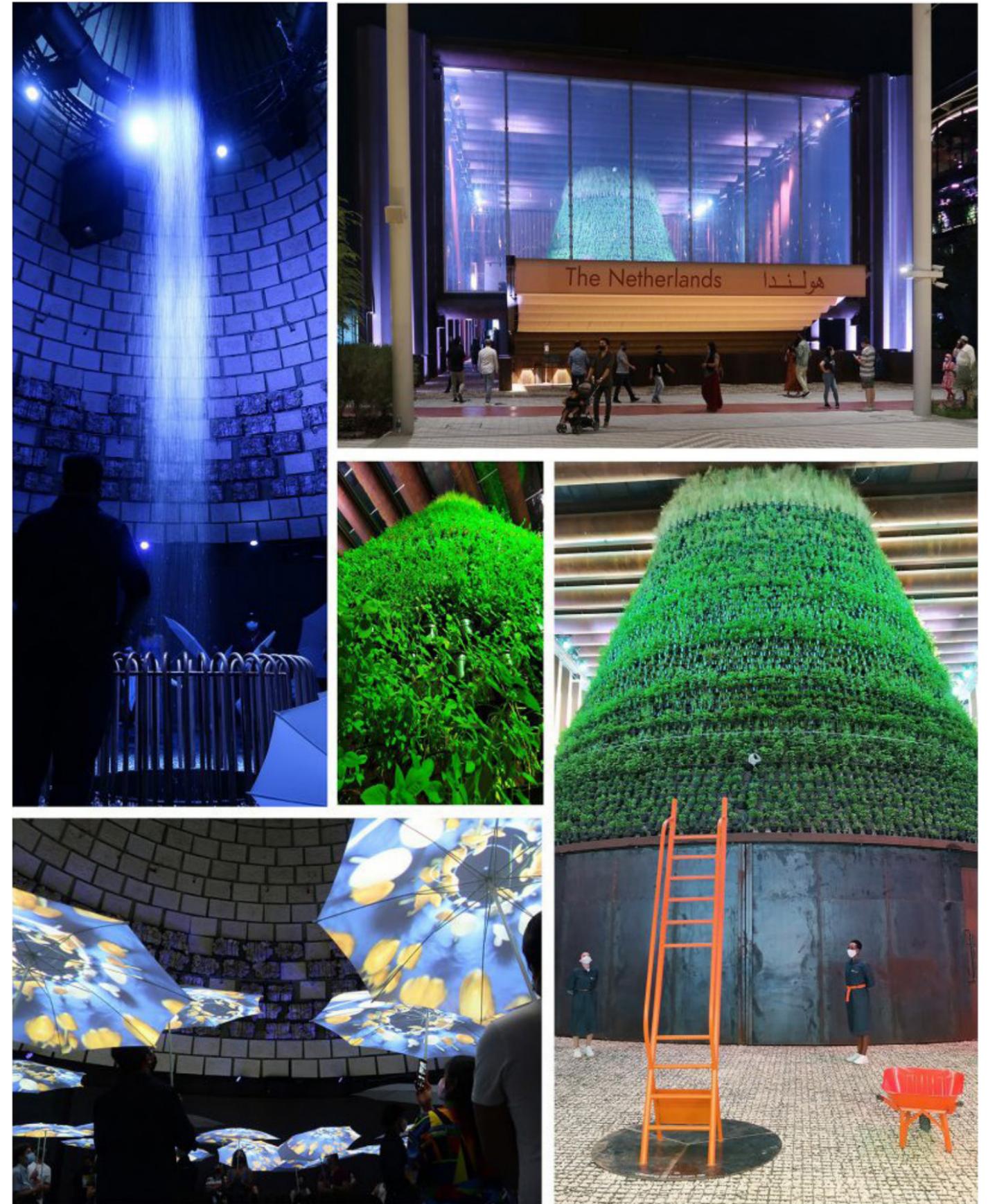


Figura 67. Recopilación de imágenes del pabellón de Países Bajos en la Expo Dubái 2020.

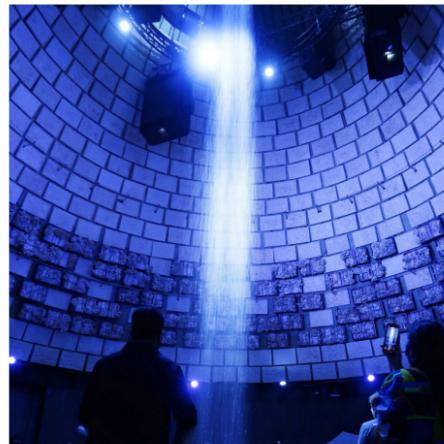


Figura 68. Cascada de agua dentro del cono.

entrada de luz al pabellón, lo cual favorece el crecimiento de las plantas, a la vez que obtienen la energía necesaria para el funcionamiento de los diferentes sistemas.

Pero, además, el punto que más interesa del proyecto para esta investigación es que dentro del pabellón llueve a partir del vapor de agua condensado. Todos estos puntos están relacionados entre ellos y generan el funcionamiento eficaz del pabellón

Para conseguir la condensación del vapor de agua de la atmósfera, dentro del pabellón, era necesario contar con unas condiciones de partida y unos sistemas y elementos específicos que favorecieran los procesos físicos del cambio de estado.

Las 3 condiciones iniciales que requería el ciclo de condensación dentro del pabellón eran las siguientes:

- » Se necesita una cantidad inicial de 10 litros de agua para poner en funcionamiento el ciclo, y conseguir crear el efecto de cascada creciente explicado en el modelo Sculpture TM01.
- » Se debía crear un ambiente cerrado con una temperatura controlada donde se pudiera producir la condensación del agua y que la cantidad recogida no se evaporase debido a las altas temperaturas exteriores, esto es el cono central.
- » Se requería también energía para producir el cambio de fase del agua, de gas a líquido, que sería suministrada por las células fotovoltaicas desarrolladas por Marjan Van Aubel.



Figura 69. Cristales fotovoltaicos techo del pabellón.

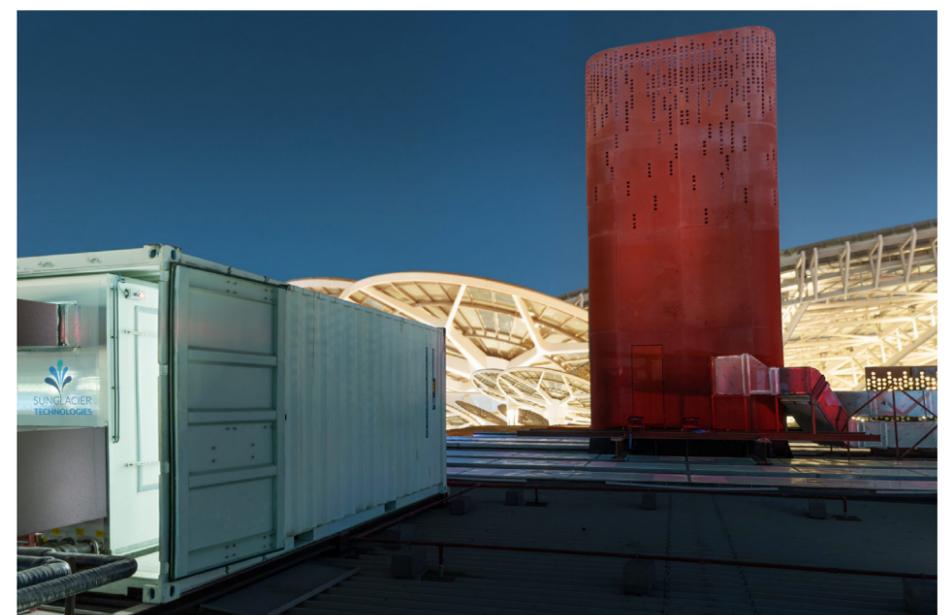


Figura 70. Cubierta del pabellón con la instalación del sistema Sunglacier.



Figura 71. Cristales fotovoltaicos.

El proceso producido en el pabellón para conseguir la condensación del agua comienza por enfriar la cantidad inicial de agua a una temperatura próxima a los 4°C. Para ello se utiliza un sistema de la empresa que se basa en la tecnología de la bomba de calor, el agua pasa por el condensador disminuyendo su temperatura. Esta agua se rocía en el cilindro vertical, generando un proceso de cascada creciente, bajando la temperatura interior de este, lo que creará una diferencia de presión entre el exterior del edificio y el interior del cono, produciéndose un efecto de succión que aspira el aire cálido del desierto. Este al entrar en contacto con las caras frías del cilindro se consigue producir la condensación del vapor de agua presente en el aire. Este proceso genera que el aire interior del pabellón se enfríe, con lo que a su vez sirve de sistema de refrigeración de los espacios contiguos, pues empuja el aire caliente que se encontraba en ellos hacia el exterior.

Los resultados obtenidos durante los seis meses de funcionamiento del pabellón han sido de una media de 1200 litros de agua al día.

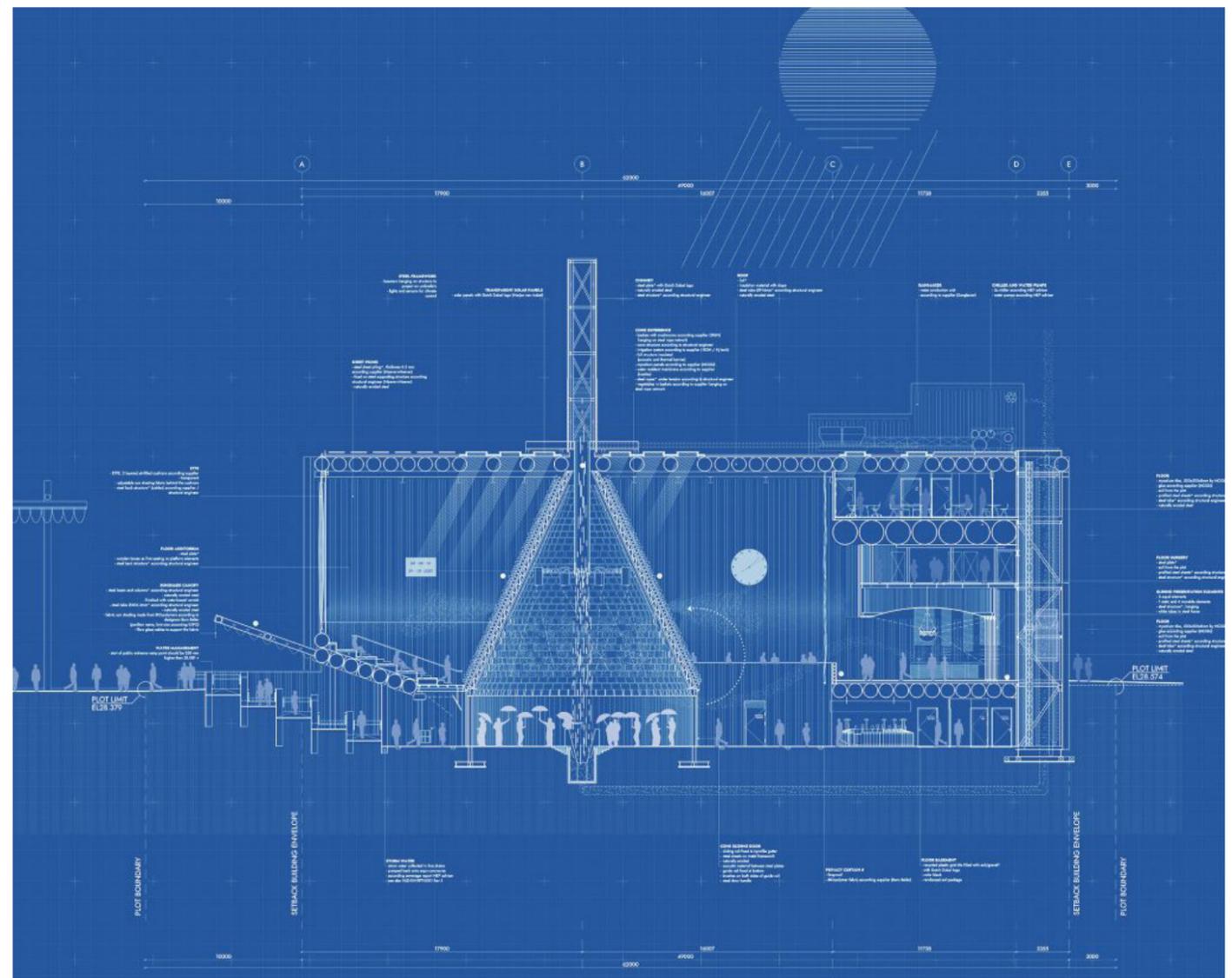


Figura 72. Blueprint pabellón de Países Bajos en la Expo Dubái 2020.

6.2.2. Airdrop (Edward Linacre)



Figura 73. Parte superior Airdrop.

El prototipo conocido como Airdrop Irrigation fue diseñado por el ingeniero australiano Edward Linacre, con el cual ganó el premio James Dyson en el año 2011.

Está diseñado con una finalidad agrícola, como un nuevo sistema de riego que pueda ser aprovechado en áreas del planeta donde las zonas de cultivo se ven severamente afectadas por graves sequías.

El prototipo utiliza los principios básicos de condensación, refrigeración e irrigación.

El funcionamiento se basa en el comportamiento de una especie de escarabajo del desierto de Namib (Namibia, suroeste africano), que es capaz de acumular las gotas del rocío condensadas durante la noche en su caparazón formado por una piel hidrófila.

Para conseguir la producción de agua por condensación, el modelo se compone de dos partes. Una parte situada en contacto con el aire exterior y una enterrada, con una profundidad aproximada de dos metros bajo la superficie terrestre.

La parte superior está formada por los siguientes elementos: una pequeña célula fotovoltaica, una turbina, una tubería vertical y un elemento que expulsa el aire de la parte enterrada.

Mientras la parte inferior se compone de un conjunto de tuberías de cobre enrolladas en espiral, un depósito para el almacenaje del agua recogida, una bomba de agua, un tubo para la circulación del agua y un irrigador.



Figura 74. Partes Airdrop.



Figura 75. Airdrop.

Una vez situados los diferentes elementos que conforman el modelo, el proceso que se crea es el siguiente: el movimiento del aire exterior produce el funcionamiento de la turbina, la cual aspira el aire que se encuentra en el ambiente, y que posee una cierta cantidad de humedad. Lo hace circular a través de la barra vertical hasta la parte enterrada del prototipo.

Cuando el viento es insuficiente para generar el movimiento de la turbina, entra en funcionamiento la célula fotovoltaica superior, generando la energía necesaria para iniciar el proceso de aspiración del aire.

Una vez que el aire ha atravesado la tubería vertical y ha llegado bajo tierra, circula por los tubos de cobre. En esta parte comienza la condensación del agua debido a la diferencia de temperatura entre el aire que circula por los tubos y el terreno. Para mejorar y hacer más eficiente el proceso de condensación, en el interior de los tubos se han colocado hilos de cobre entrelazados para ralentizar la velocidad de circulación del aire, consiguiendo que el traspaso de energía entre el aire y el terreno sea mayor.

Se colocan estos hilos para que no haya pérdidas térmicas entre el material que disminuye la velocidad del aire y el tubo, puesto que son el mismo material y la conductividad térmica es igual.

Cuando se ha producido la condensación, las gotas de agua producidas son recogidas en un pequeño depósito situado en la parte inferior, desde el cual se bombea el agua a los puntos de riego que están colocados bajo las raíces de las plantas, evitando problemas de evaporación que se podrían dar en la superficie del terreno, debido a las altas temperaturas exteriores. Y el aire seco, restante del proceso, es expulsado al exterior a través de una boquilla de expulsión.

El prototipo diseñado fue capaz de recolectar aproximadamente 11.5 cl de agua por cada metro cúbico de aire absorbido.

Una unidad pequeña es capaz de producir 1L de agua en un día.



Figura 76. Prototipo Airdrop.

6.2.3. Eole Water (Marc Parent)



Figura 77. Logotipo Eolewater.

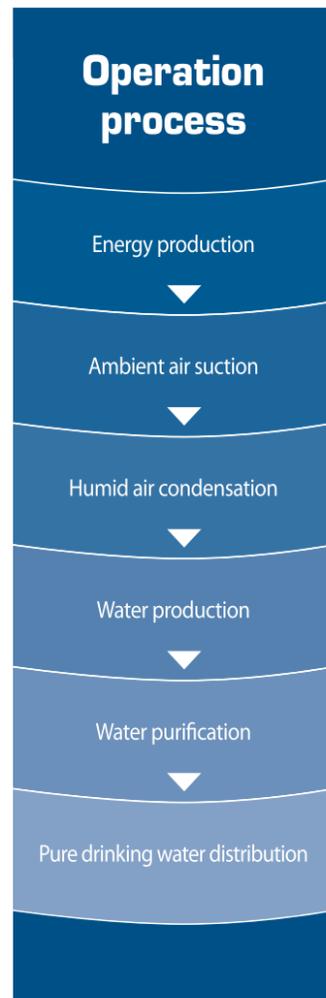


Figura 78. Fases modelos EoleWater.

El ingeniero francés Marc Parent, fundó en el año 2004 la empresa Eole Tech. Desde la cual desarrollaría la idea de producir agua limpia a partir del aire, que llevaba investigando desde 1997. Esta idea al estudiar los sistemas de aire acondicionado y el agua condensado que en ellos se produce.

En el año 2004, cuando funda la compañía, empieza a desarrollar los primeros prototipos Water Maker System (WMS). Pero no es hasta 2008, después de desarrollar los sistemas de producción de aire (WMS), que cambia su nombre a EoleWater S.A.S., donde continuaría investigando en la producción de agua.

Para producir agua, comenzó a buscar soluciones que no requiriesen un aporte eléctrico. Esto le permitiría situarlo en zonas del planeta que no contaran con una infraestructura adecuada de energía eléctrica, o directamente no dispongan de suministro.

El objetivo principal de la empresa es “proporcionar agua dulce a los cerca de 1.200 millones de personas de todo el planeta que no tienen acceso al agua potable; los 1.800 millones que, según estimaciones de 2006, son víctimas de enfermedades transmitidas por el agua, y los 2.600 millones de personas que carecen de instalaciones sanitarias básicas.”

Además, a raíz de estos datos, recalcan la importancia que tienen para la salud sus inventos. Así como los beneficios ecológicos de los mismos. Pues sus dispositivos trabajan de forma autónoma y sostenible, no generan CO₂ y no requieren perforar el suelo ni bombear agua.

Sus equipos se basan en el aprovechamiento de tres recursos naturales; el viento, el sol y la humedad ambiente.

La empresa crea en el año 2011 el modelo WMS1000, 5ª generación de la tecnología. Se trata de un aerogenerador que utiliza la energía eólica para producir agua a partir del vapor de agua del aire. Y el que será el modelo principal que se desarrolle.

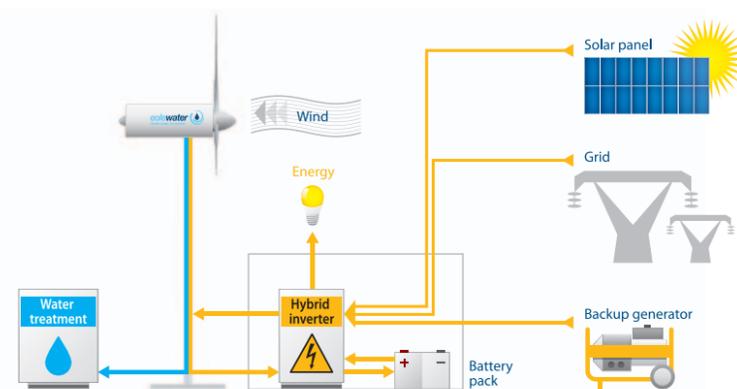


Figura 79. Sistemas energéticos Eolewater.

Posteriormente la empresa ha lanzado otros prototipos que se basan en los mismos principios:

- » El sistema WMS-30kW, que funciona gracias a la energía proporcionada por paneles fotovoltaicos.
- » El sistema WMS-30 kW Grid Tie, pensado para lugares donde no existan problemas en la conexión eléctrica, pues trabaja conectado a la propia red o a un generador.
- » El sistema Nerios.S3, diseñado para tener una forma más compacta y cuyo funcionamiento se basa también en la energía solar.

Estos modelos buscan soluciones para la producción eléctrica, para que en los momentos en los que no se den las condiciones eólicas necesarias, para hacer funcionar el aerogenerador, se pueda continuar con la producción de agua potable, a través de otras fuentes de energía. (Se añaden las fichas técnicas de estos modelos en el capítulo de Anexos, parte A).

WMS1000

Este modelo emplea la tecnología y los elementos de un generador eólico convencional. Añadiendo el sistema para producir la condensación de la humedad presente en el aire, basado en la tecnología de la bomba de calor, es decir, utilizando un fluido refrigerante.

El aerogenerador tiene una potencia de 30 kW y necesita velocidades de entre 24 y 35 km/h para funcionar. Es capaz de producir 62 litros de agua cada hora. Aproximadamente 1000 litros de agua al día cuando la velocidad del viento es de 35 km/h.

Los elementos que conforman la estructura del aerogenerador son:

1. **Hélices - palas:** Elementos longitudinales unidos al rotor del aerogenerador. Estas palas son capaces de transportar la fuerza del viento al rotor, gracias a su perfil aerodinámico. Esta forma está compuesta por una superficie curva en uno de sus lados y una plana en el contrario.
2. **Rotor:** Pieza donde se insertan las 3 hélices del aerogenerador. Su función es convertir la energía cinética, producida por la fuerza del viento, en energía mecánica de rotación. En el caso del prototipo WMS1000, además, el análisis del equipo hace pensar que el rotor es el encargado de introducir el aire en la góndola, no quedando claro si se realiza por la parte delantera de este o la parte trasera entre el rotor y la góndola.
3. **Buje:** Elemento colocado en el interior del rotor, donde se unen las palas. Es el encargado de transmitir la energía obtenida por el rotor a la caja multiplicadora de velocidad.



Figura 80. Rotor.



Figura 81. Góndola.

4. Caja de engranajes multiplicadora de velocidad: Es la encargada de transformar la baja velocidad que le llega del rotor, en alta velocidad. Lo consigue a través de un sistema de engranajes con distintos diámetros. La diferencia de diámetros consigue un aumento de velocidad del eje del generador. Dicho generador utiliza campos magnéticos para transformar la energía de rotación en energía eléctrica.

5. Góndola: Estructura metálica que alberga en su interior los diferentes componentes para la producción de agua. Sobre ella se sitúa un anemómetro y una veleta para medir la velocidad y dirección del viento. Con los datos recogidos por estos dispositivos, se pueden activar los motores para mover la góndola y las palas. Esto se utilizaría para disponer el aerogenerador en la dirección del viento, o detenerlo cuando se alcancen velocidades muy altas que puedan llegar a dañar el equipo.

6. Torre: Perfil tubular de acero, de 24 metros de altura, que sirve para sustentar los elementos anteriores. Por su interior discurrirá una tubería, que transportará el agua producida en la góndola hasta el suelo. Donde se situará un depósito para almacenarlo.

La producción de agua se realiza en el interior de la góndola. Con la utilización de los siguientes componentes:

1. Generador: Transforma la energía de rotación del rotor en energía eléctrica, a través de un conjunto de imanes. Esta energía eléctrica se utiliza para alimentar el compresor y los demás elementos del sistema de refrigeración.

O en otros casos, en función de las necesidades de los usuarios, se podría aprovechar la energía eléctrica directamente. Sin utilizar el sistema de producción de agua, como un aerogenerador convencional.

2. Freno mecánico: Utilizado para operaciones de mantenimiento, para detener el aerogenerador. O en casos de fuertes vientos que puedan producir colapso de la estructura, o fallos en el propio sistema.

3. Filtro de arena: Colocado detrás del rotor, en la entrada de aire en la góndola. Se utiliza para retener las posibles partículas de arena o polvo que transporta el aire, evitando su entrada en el sistema. Lo que podría suponer fallos en los dispositivos o contaminación del agua obtenido.

4. Compresor para refrigeración: Utilizado para aumentar la presión del circuito de refrigeración. Este aumento de presión lleva consigo un incremento de la velocidad y de la energía del fluido refrigerante

5. Bomba de circulación - unidad hidráulica: Encargada de hacer circular el fluido refrigerante, por las tuberías del circuito de refrigeración.

6. Ventilador: Genera un flujo de aire, haciendo pasar el aire caliente a través de las placas del condensador.

7. Condensador: En él se produce el intercambio de energía entre el fluido refrigerante y el aire caliente que se ha introducido en el aerogenerador.

8. Termointercambiador: utilizado para refrigerar el sistema del aerogenerador. A base de agua en circulación continuada.

El funcionamiento del sistema es el siguiente: El aire caliente entra al aerogenerador por el rotor, pasa por los filtros y se lleva hasta el evaporador del sistema de refrigeración. El aire al pasar por el evaporador cede calor al fluido refrigerante, calentándolo. El aire exterior se enfría, condensando el agua que posee en forma de humedad específica (cantidad de agua por unidad de masa de aire seco). Este aire frío pasa por un ventilador, que lo impulsa hasta el condensador del circuito de refrigeración, absorbiendo calor, aprovechando el aire frío para enfriar el fluido refrigerante. El aire caliente que se produce se expulsa por la parte trasera del aerogenerador.

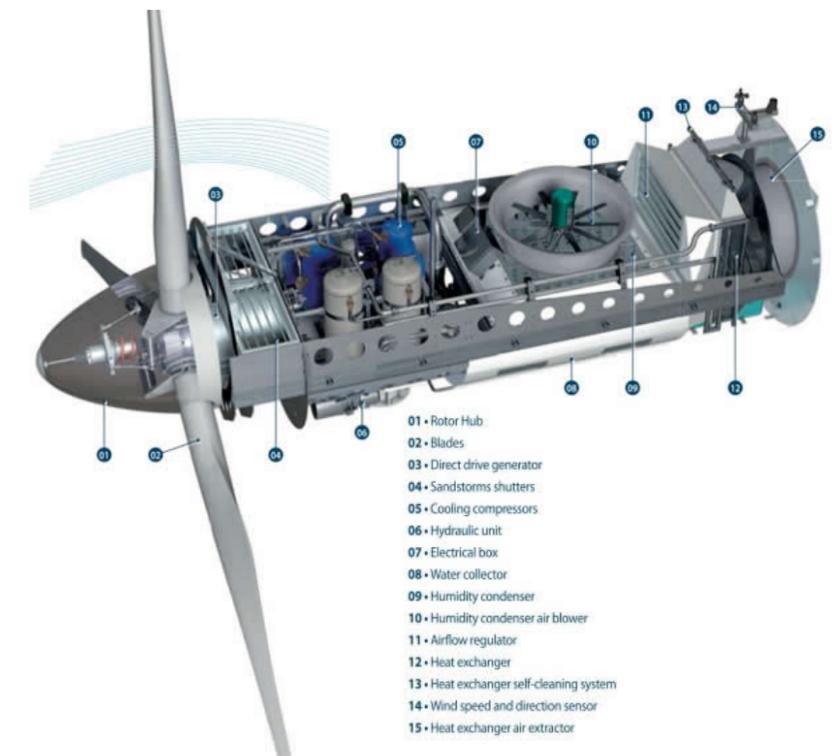


Figura 82. Partes del aerogenerador.

6.2.4. Otros modelos estudiados

Después de explicar aquellos sistemas más relevantes para esta investigación de la recuperación de recursos hídricos. Se añade a continuación una serie de ejemplos también relacionados con el tema, pero de los cuales la información que se tiene es mucho menor, por lo que se realiza una breve reseña del sistema, acompañada de fotos y esquemas que permiten explicar su funcionamiento.

Colector solar desecante

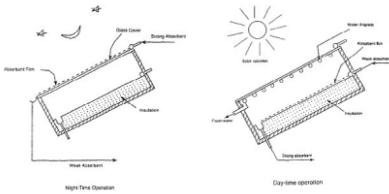


Figura 83. Esquema funcionamiento.

A partir de la bibliografía estudiada, se ha encontrado un grupo de prototipos, que, aun teniendo algunas características diferentes, el proceso que siguen es el mismo. Por lo que se han estudiado de forma simultánea.

Este conjunto se basa en la utilización de materiales hidrófilos, es decir, aquellos que muestran facilidad para absorber humedad del ambiente. Siguiendo los procesos de absorción/adsorción - desorción explicados en el marco teórico de la investigación. Existe una gran variedad de estos materiales y su investigación se mantiene muy activa, buscando mejorar la eficiencia que ofrecen ante el proceso de captación de humedad.

Estos materiales pueden estar en estado líquido o sólido, en función de sus propias características. Algunos de ellos son muy comunes como el serrín o el gel de sílice pero ofrecen buenos resultados en estos sistemas.

Estos modelos están compuestos por una caja de cristal, como en el A2WH, que posee dos trampillas móviles, un depósito de agua y una superficie donde se coloca el material desecante. Y su funcionamiento se basa en dos pasos; durante la noche, las trampillas se abren permitiendo la entrada del aire exterior, con lo que el material desecante es capaz de atrapar el vapor de agua que está presente en este.

Cuando se empieza a hacer de día, estas trampillas se cierran manteniéndose el material húmedo, según van transcurriendo las horas, la radiación solar incide sobre el material aumentando su temperatura y produciendo la evaporación del vapor de agua. Al evaporarse, este gas choca contra las caras de cristal del volumen, que se encuentran a una temperatura menor y se condensa en ellas. Las gotas formadas discurren a través de la superficie llegando a la parte inferior donde son recogidas en un depósito.

A2WH (Joe Ellsworth)



Figura 84. A2WH.

El prototipo está formado por una caja de metacrilato, que le sirve de estructura, en cuyo interior se encuentra un volumen de material hidrófilo. Además, cuenta con un panel solar fotovoltaico, un ventilador, un conjunto de baterías y un calentador.

El modelo no necesita un sistema de refrigeración para conseguir la condensación o regular la temperatura de los elementos que lo conforman. Utiliza el gradiente térmico que se da entre el interior y el exterior.

La radiación solar que llega al prototipo es utilizada por el panel fotovoltaico que se encuentra en su parte superior para generar electricidad. Esta electricidad se utiliza para hacer funcionar tanto el ventilador, como los demás elementos que conforman el modelo.

Durante la noche, cuando la humedad del ambiente es mayor, el ventilador comienza a funcionar con la electricidad acumulada en las baterías. El ventilador produce un flujo de aire hacia el interior de la caja. Este aire húmedo, pasa por el material hidrófilo, el cual absorbe la humedad.

Durante el día, cuando el material ya ha absorbido la humedad, comienza el proceso de recuperación del agua líquida. El interior de la caja se calienta por efecto invernadero, aportando calor al medio, incrementándose por tanto su capacidad de almacenar agua. Produciéndose la evaporación del agua retenida en el material. Este pierde el volumen de agua, que vuelve a estado gaseoso. El vapor de agua, al entrar en contacto con la superficie de la caja, que se encuentra a una temperatura menor, la exterior, se condensa. Recuperándose el agua en estado líquido.

Pruebas Realizadas

07

A partir de los modelos estudiados y conociendo los diferentes métodos con los que se puede conseguir la condensación del vapor de agua presente en el aire, se busca proponer un sistema que sea capaz de conseguir dicho objetivo de la manera más eficiente posible. Para ello, se tienen en cuenta diferentes consideraciones iniciales, que influyen tanto en el diseño como en el funcionamiento del sistema:

- » Conseguir la máxima superficie fría posible.
- » Obtener un flujo de aire continuo.
- » Determinar materiales de alta transmitancia térmica.
- » Obtener la energía necesaria por medio de sistemas renovables.
- » No tener la necesidad de realizar un aporte de agua inicial, dado que, existiendo un problema mundial con el agua y zonas del planeta que no disponen de este recurso, limitaría la zona en la que el prototipo podría funcionar.
- » Ser capaz de generar un modelo con elementos reutilizados o reciclados, en su mayor medida.

Con estas premisas, se eligió para el proceso de enfriamiento la refrigeración termoeléctrica a partir de células Peltier. Además, se utilizaron los materiales y elementos explicados a continuación para la realización de las diferentes pruebas que posibilitaron estudiar el proceso y la configuración de un prototipo final.

Se añade junto a la fotografía de cada elemento, el esquema con el que será representado cada uno en los puntos sucesivos del trabajo.

7.1. MATERIALES Y ELEMENTOS

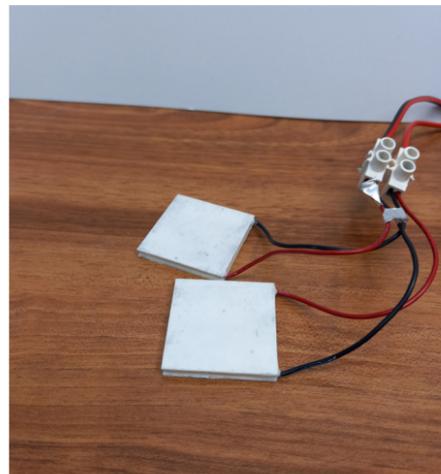


Figura 85. Células Peltier.

» **Células Peltier:** se trata de unas pequeñas piezas cerámicas en cuyo interior se sitúa un material semiconductor. Su funcionamiento se basa en el Efecto Peltier, explicado anteriormente. Al hacer pasar por ellas una corriente eléctrica, crean un diferencial de temperatura entre sus dos caras, permitiendo bajar de temperatura la superficie que esté en contacto con su cara fría.

Para las diferentes pruebas realizadas, primero se utilizó una célula de 12 V de 4cm x 4 cm de superficie y posteriormente dos células de 12 V cada una, con una superficie de 3cm x 3cm, conectadas todas ellas a una fuente de alimentación.

La ficha técnica de estos elementos se añade en el capítulo de Anexos, parte B.



Figura 86. Disipador de calor.

Los montajes realizados para los ensayos, así como el prototipo final, generan un gran diferencial de temperatura entre sus diferentes puntos, como se observará más adelante, debido a la utilización de las células Peltier. Es por ello que es necesario dotarlos de un sistema de disipación de calor que evite el sobrecalentamiento de la célula, lo cual puede llegar a dañarla. Este sistema estará formado por un disipador de calor y ventiladores, explicados a continuación.

» **Disipador de calor:** Pieza de aluminio reutilizada de un ordenador que permite disipar el calor generado por las células Peltier. Al configurarse con un conjunto de aletas, el aire es capaz de discurrir en su interior produciéndose un intercambio de calor entre los dos medios, evitando que este calor se acumule en el sistema.



Figura 87. Ventilador.

» **Ventilador:** También es un componente reutilizado de un ordenador. En este caso empleado para crear un flujo de aire forzado y continuo en la dirección y sentido deseado, según las necesidades de cada modelo. Al igual que las células Peltier, también se conecta a una fuente de alimentación para su funcionamiento a 12V.

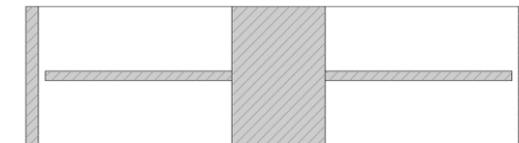


Figura 88. Placas de aluminio.

» **Placas de aluminio:** Fragmentos de láminas de aluminio que han sido reutilizadas, como se verá más adelante en la explicación del bloque de aluminio.

Estas piezas fueron cortadas con dimensiones de 4cm x 4cm x 0,2cm, lo que ha permitido conformar bloques con ellas utilizando cinta de aluminio o utilizarlas como superficies donde se produzca la condensación en algunas de las pruebas.

Al tratarse de elementos que se utilizaron en las primeras pruebas, mantienen la pintura de la que se habla en el apartado del condensador, ya que fue a raíz de los diferentes ensayos cuando se consideró que esta podría causar efectos aislantes.





Figura 89. Pirámides de chapa de aluminio.

» **Pirámides de chapa de aluminio:** Volúmenes huecos con forma de pirámide cuadrada realizados a partir de latas de refresco reutilizadas. Estas latas también son de aluminio, por lo que permitían utilizar un material de alta transmitancia térmica y que era fácil de transformar para conseguir la forma más eficiente para la condensación del agua en su superficie y su posterior recogida.

Para las diferentes pruebas se utilizaron dos pirámides, con base de 3cm x 3cm, pero de altura variable por motivos que se explicarán más adelante al estudiar los resultados de dichas pruebas.

El proceso para realizar las pirámides fue el de cortar las diferentes latas para conseguir la chapa de aluminio y a partir de ahí, diseñar el despiece de las pirámides en la superficie de la chapa para poder recortar y montar el volumen, el cual fue unido con cinta de aluminio que permitía mantener la unidad del material utilizado.

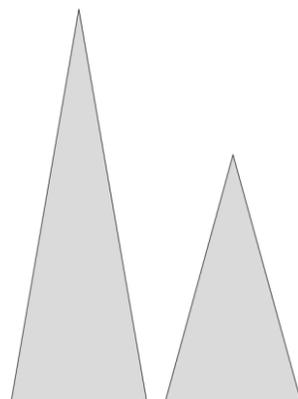
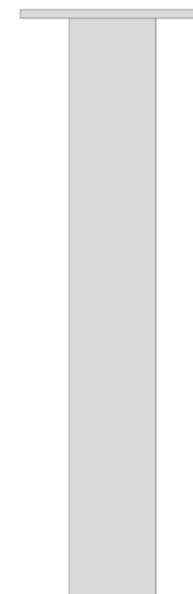


Figura 90. Bloque de aluminio "condensador".



» **Bloque de aluminio "condensador" "bloque de condensación":** Cuerpo macizo de aluminio con forma triangular, utilizado como superficie de condensación.

La conformación del volumen se llevó a cabo utilizando láminas reutilizadas de aluminio de 0,2 cm de espesor (1). Estas pletinas, debido a su anterior uso, estaban pintadas, por lo que el primer paso era quitar la pintura que las recubría para que no actuara de aislante frente al traspaso de calor y cortarlas en placas de 20cm (2).

Se eligió una dimensión de 20cm para que el volumen final tuviera esa altura, pudiéndose obtener un gradiente térmico óptimo al utilizarse en el montaje y no se produjeran problemas de congelación del agua condensada. Este problema se observó en las fases precedentes de investigación.

Una vez obtenidas las piezas más pequeñas, se marcaron y cortaron en forma de triángulo (3), una por una. Además, se lijaron y pulieron todos los bordes y caras de los triángulos para obtener una superficie lo más lisa posible, lo que dejará discurrir el agua condensada en ellas de forma continua.

Estos procesos permitirían colocar las piezas en paralelo y consolidar el volumen deseado (4). Para dar unidad al volumen y mantener las planchas ensambladas se probó a encolarlas una por una; sin embargo, con los pegamentos a disposición no se aseguraba que permanecieran en su posición, ya que tendían a despegarse cuando se les sometía a cambios de temperatura o vibración. Como solución a este problema y buscando un material que contribuyese al paso del calor por el volumen, se volvió a utilizar la cinta de aluminio como en casos anteriores.

Además, la parte de las bases de los triángulos fue reforzada con otra pieza rectangular de aluminio, dado que, al tratarse de una elaboración manual, la planeidad de esta superficie tenía pequeñas irregularidades, por lo que el contacto con las células debía mejorarse añadiendo esta superficie totalmente plana.



Figura 91. (1) Láminas de aluminio.



Figura 92. (2) Placas cortadas de 20 cm.



Figura 93. (3) Triángulos de aluminio.

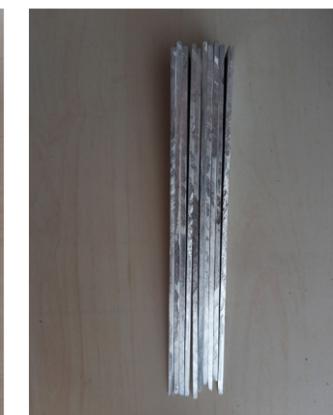


Figura 94. (4) Volumen de aluminio.

7.2. ITINERARIO EXPERIMENTAL

Una vez definidos los componentes que van a ser utilizados, se explican las diferentes pruebas realizadas. Estas pruebas buscaban estudiar los resultados ofrecidos por las células Peltier en relación con las consideraciones planteadas inicialmente, además de ayudar a definir un prototipo final que funcionase de manera eficiente.

Dichas pruebas se realizaron de forma secuencial, basándose la mayoría de ellas en los resultados obtenidos en las pruebas que las preceden. Por esa razón serán explicadas en el mismo orden, permitiendo dejar plasmado el proceso y el razonamiento llevado a cabo durante la investigación.

Las primeras pruebas se realizaron con la finalidad de observar el funcionamiento de las células Peltier, es por ello que no se dispone de la misma documentación gráfica que en las siguientes, anadiéndose en el punto 7.2.1 un esquema del montaje realizado. Aun así, sirvieron para sacar las primeras ideas de cómo debían encaminarse los montajes posteriores.

Se comprobó que la temperatura alcanzada por la cara caliente de las células era muy elevada y que por tanto es imprescindible disipar el calor producido.

En la **primera prueba**, el intercambio de calor con el aire del entorno se realiza con la colocación de un dissipador de calor en contacto con el lado caliente y al cual se le suministra un flujo de aire continuo a través de un ventilador colocado debajo de él. El dissipador superior, colocado en contacto con la cara fría, serviría como superficie de condensación. Sin embargo, no se obtuvo la temperatura de rocío, pues el dissipador inferior alcanzaba temperaturas en torno a los 60°C pocos segundos después de conectar la célula, y todo ese calor era transportado al resto del sistema por el flujo de aire ascendente producido por el ventilador.

Conocido que el flujo de aire que pasaba por el dissipador de la cara caliente no debía pasar por el resto del sistema, pues cedería calor a la parte fría de la célula, lo que modificaría su funcionamiento. Se propuso para realizar la **segunda prueba** un cambio en la polaridad de la corriente suministrada, por lo que la cara caliente de la célula se situaría en la parte superior y el flujo de aire se mantendría desde la parte baja. Aun así, los resultados no fueron muy diferentes a los de la prueba anterior, pues se alcanzaba una temperatura próxima a los 80°C en el dissipador superior y el dissipador inferior empezaba a absorber calor de la célula.

El calor producido por la célula en ambos intentos era excesivo y no se disipaba de forma correcta del sistema. Por lo que en el **tercer experimento** se optó por la colocación de dos ventiladores que aumentaran el flujo de aire que atravesaba el sistema, cada uno de ellos colocado en un extremo de este, y por cambiar el dissipador utilizado en la parte superior, pues el que se había utilizado anteriormente estaba impidiendo que el flujo de aire fuese continuo, debido a que contaba con una superficie maciza de mayor superficie que la célula. No obstante, después de poner en funcionamiento el sistema se observó que la diferencia térmica existente entre los dissipadores en contacto con la célula era mínima, además de concluir que el flujo de aire era excesivo.

Una vez cambiados los dissipadores se volvió a optar por un único ventilador para realizar la **cuarta prueba**, con la misma disposición que en la anterior. En este caso se observaba como la disipación de calor se producía de forma correcta, evitando que la célula se sobrecalentase.

Esto produjo que el dissipador inferior llegase a bajar su temperatura hasta los 15°C, 10°C por debajo de la temperatura ambiente, aunque no llegaba a la temperatura de rocío. Por otro lado, el dissipador superior mantenía su temperatura en 30°C, encontrándose la temperatura de la cara caliente de la célula entre los 70°C y 80°C.

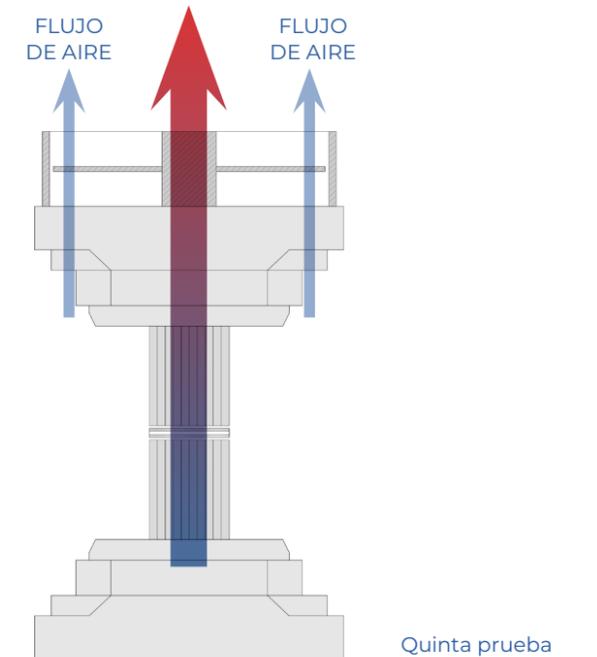
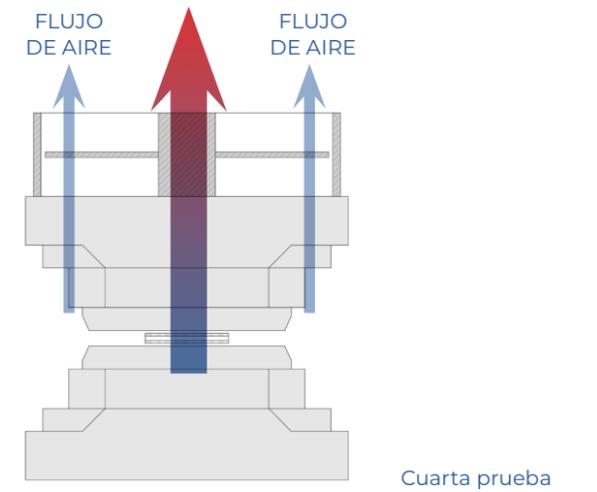
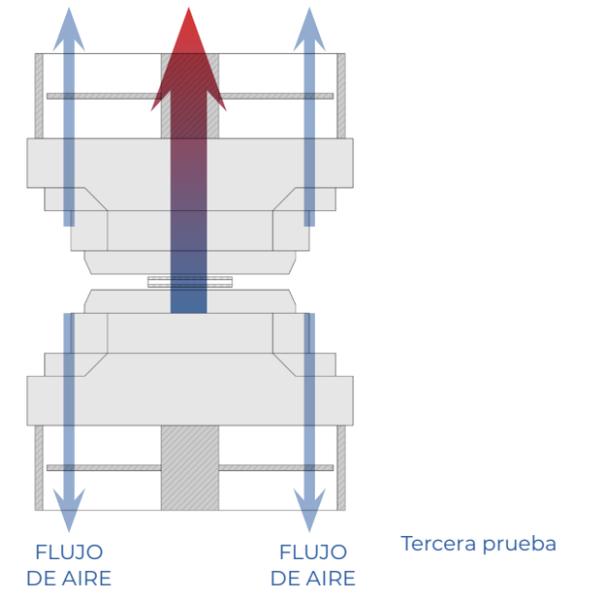
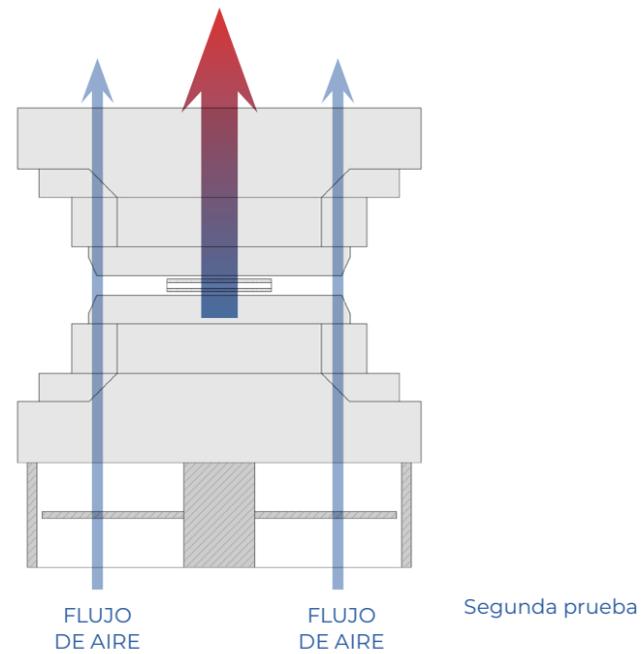
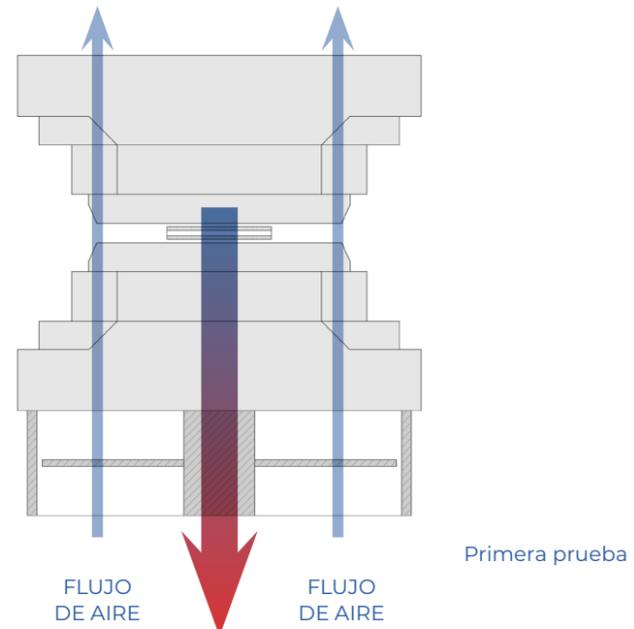
Al dejarse unos minutos funcionando el sistema, se pudo observar como la parte fría del modelo empezaba a absorber calor de la parte superior debido a la proximidad de las piezas. Otro inconveniente encontrado a esta disposición se encuentra en el cese de calor que se produce entre el flujo de aire ascendente y el dissipador inferior, que tendría que actuar como superficie de condensación.

Tras observar que la proximidad de los elementos favorecía el traspaso de calor entre ellos, se optó por separarlos. Para ello, en la **quinta prueba** se colocaron dos bloques de placas de aluminio con base igual a la superficie de la célula. Se dispuso uno en contacto con la cara caliente y otro con la cara fría. Al conectar el sistema, se observó cómo el traspaso de calor se realizaba más eficientemente al colocar los bloques y que la parte inferior no absorbía el calor generado por la célula, que alcanzaba los 60°C.

Sin embargo, tras realizar una segunda prueba con la misma disposición, la célula falló y dejó de funcionar. Las razones por las que pudo ocurrir son las siguientes:

- Exceso de peso al colocar el bloque de aluminio, el disipador y el ventilador encima.
- Acumulación excesiva de calor en la parte superior debido a que no se estaba disipando de manera correcta el calor del bloque de placas.

7.2.1. Esquemas primeras pruebas



PRUEBA 6

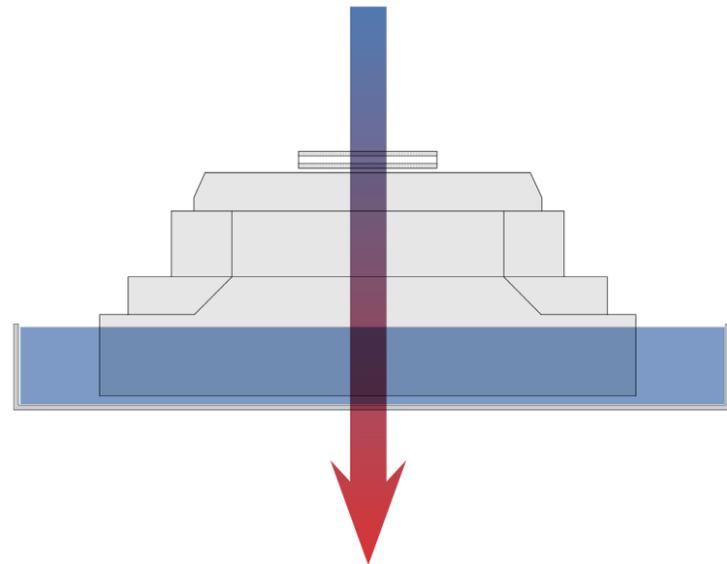
Montaje

$T^a \text{ atm.} = 21.9^\circ\text{C}$

HR = 49%

$T^a \text{ rocío} = 10.7^\circ\text{C}$

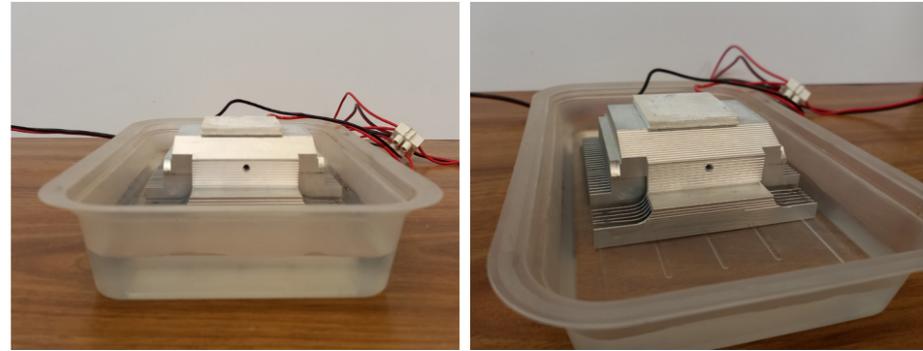
Esquema de funcionamiento



Explicación

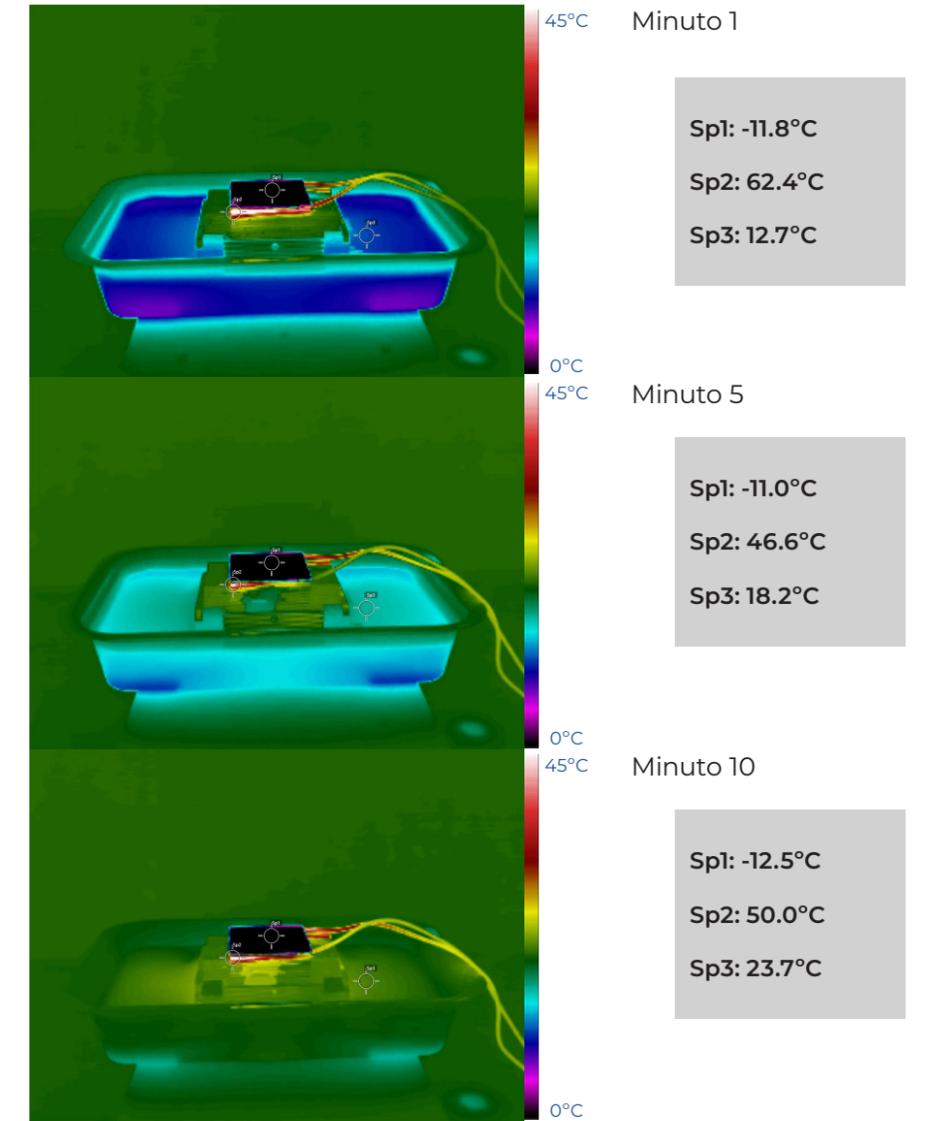
Tras las primeras pruebas realizadas y observando los diferentes problemas surgidos con la disipación de calor y el funcionamiento de la célula, se continuó investigando métodos que permitieran llegar al punto de rocío en la célula, ya que hasta el momento no se había conseguido.

Es por ello que se probó a sumergir el disipador de calor en agua fría, a unos 8°C , actuando esta como fluido refrigerante y absorbiendo el calor desprendido por la célula.



Resultados

Conclusiones



La célula mejora su eficiencia debido a que el gradiente térmico entre sus caras es estable y la temperatura de la parte caliente al ser menor por el calor que absorbe agua, hace que se reduzca todavía más la temperatura de la cara fría.

El agua absorbe de manera eficiente el calor del disipador que está en contacto con la parte caliente de la célula.

La parte fría de la célula alcanza temperaturas bajo cero, llegando hasta los -12°C , con lo que además de condensar el agua del ambiente, hace que la que se acumule en la superficie, cambie a estado sólido, apareciendo una fina capa de hielo sobre la célula.

Posteriormente se realizó el mismo montaje (no se dispone de fotografías) con agua a temperatura ambiente. Pero los resultados fueron más desfavorables, el agua absorbía más calor y comenzaba a cederlo a todo el sistema. Pero sí se producía la condensación.

PRUEBA 7

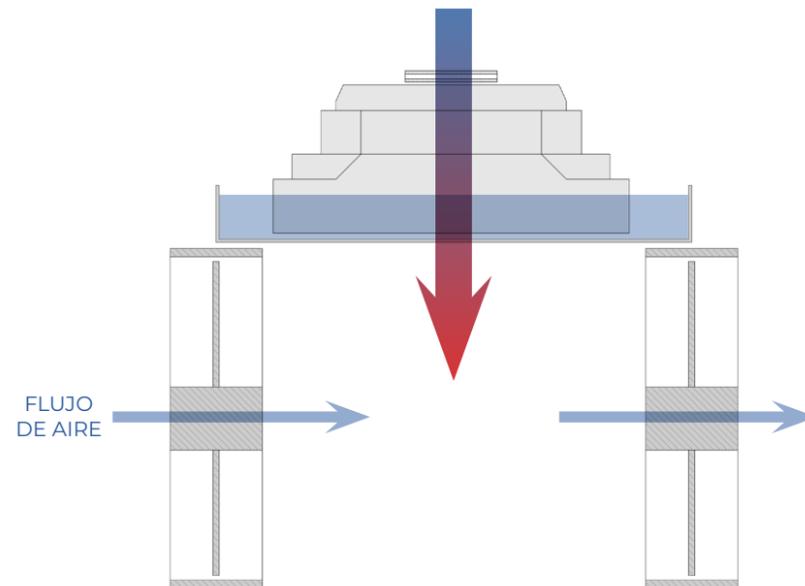
Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.0^\circ\text{C}$

HR = 48%

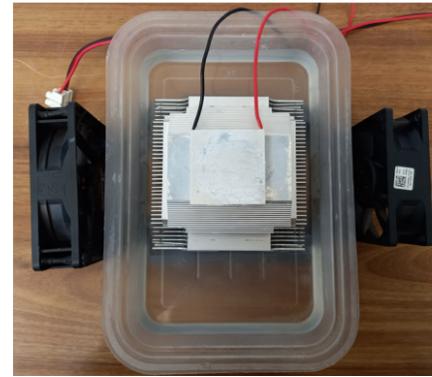
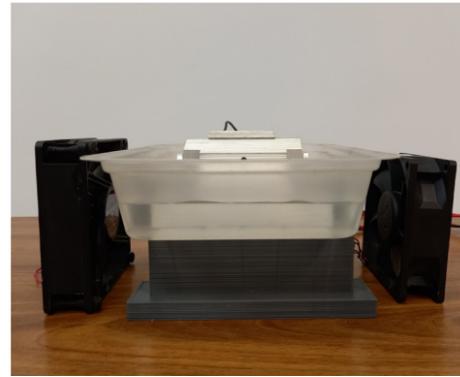
$T^a \text{ rocío} = 10.5^\circ\text{C}$

Esquema de funcionamiento



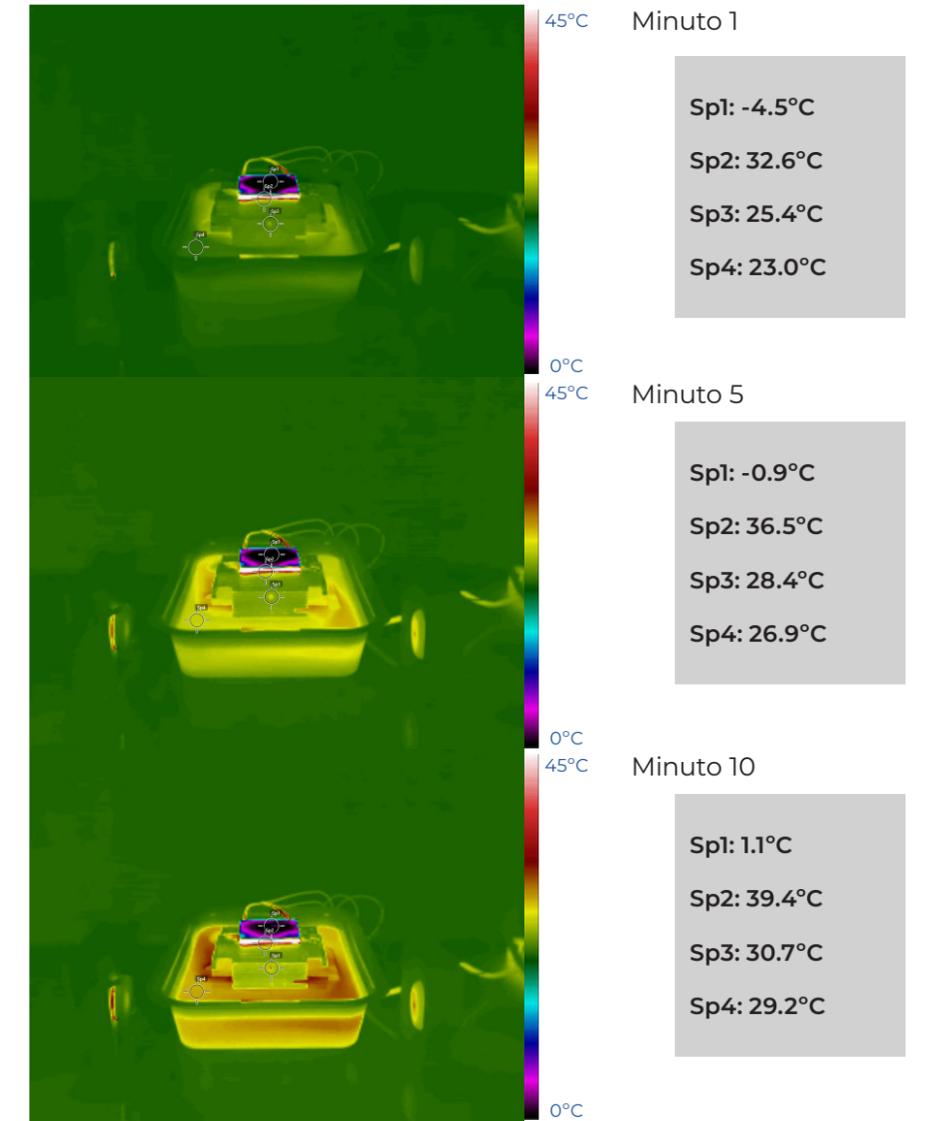
Explicación

Al observar que con agua a temperatura ambiente también se conseguía producir la condensación en la parte fría de la célula, pero esta absorbía el calor del disipador rápidamente, se probó a crear un flujo continuo de aire por debajo del recipiente que permitiera absorber el calor del agua contenido y así el agua podría seguir absorbiendo el calor del disipador, permitiendo el correcto funcionamiento de la célula.



Resultados

Conclusiones



Este flujo de aire no es suficiente para mantener el agua fría, además de contar con la resistencia al paso de calor que ofrece el recipiente. Por tanto, la parte fría de la célula se va calentando lentamente.

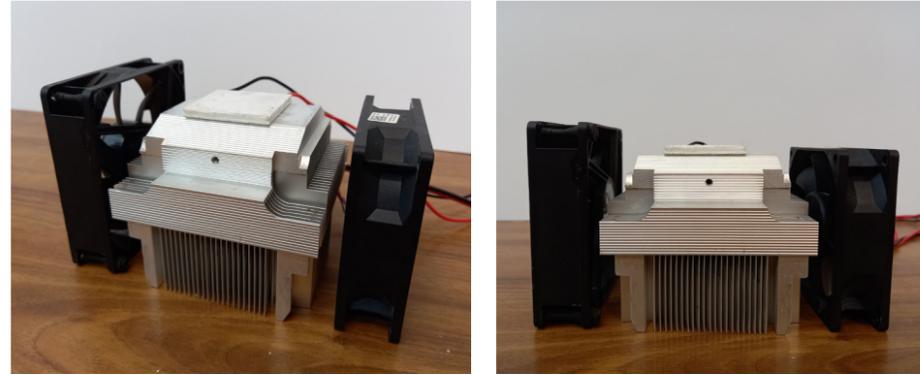
Continúan apareciendo gotas en la cara fría, pues su temperatura está en torno a los 0°C y por tanto por debajo de la temperatura de rocío.

El aumento de temperatura de la cara fría se observa puesto que en el minuto 5 esta es más baja que en el 10, la célula está absorbiendo parte de calor, variando su gradiente. La diferencia de temperatura fría entre el minuto 1 y el 10 es de 5.6°C .

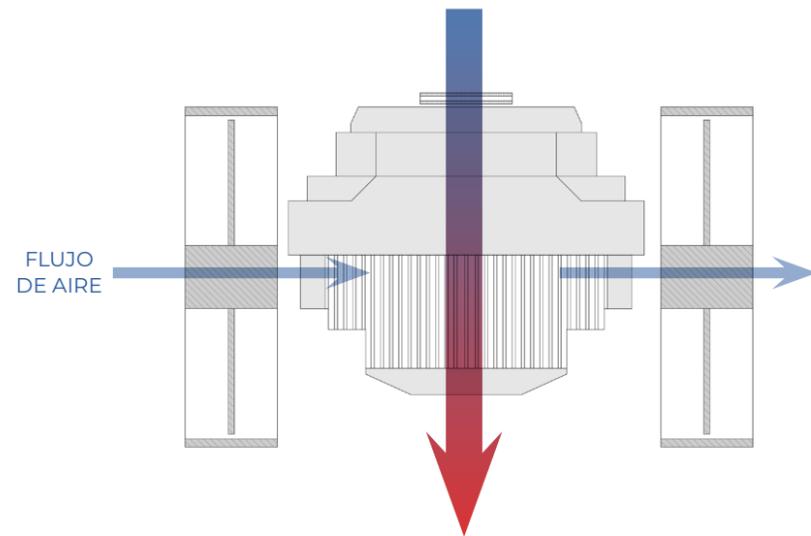
La temperatura de la parte caliente aumenta 7°C en la duración de la prueba, mientras que la del agua aumenta 6°C , por lo que aun así la transferencia de calor entre el disipador y el agua es bastante alta.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 48\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.9^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento



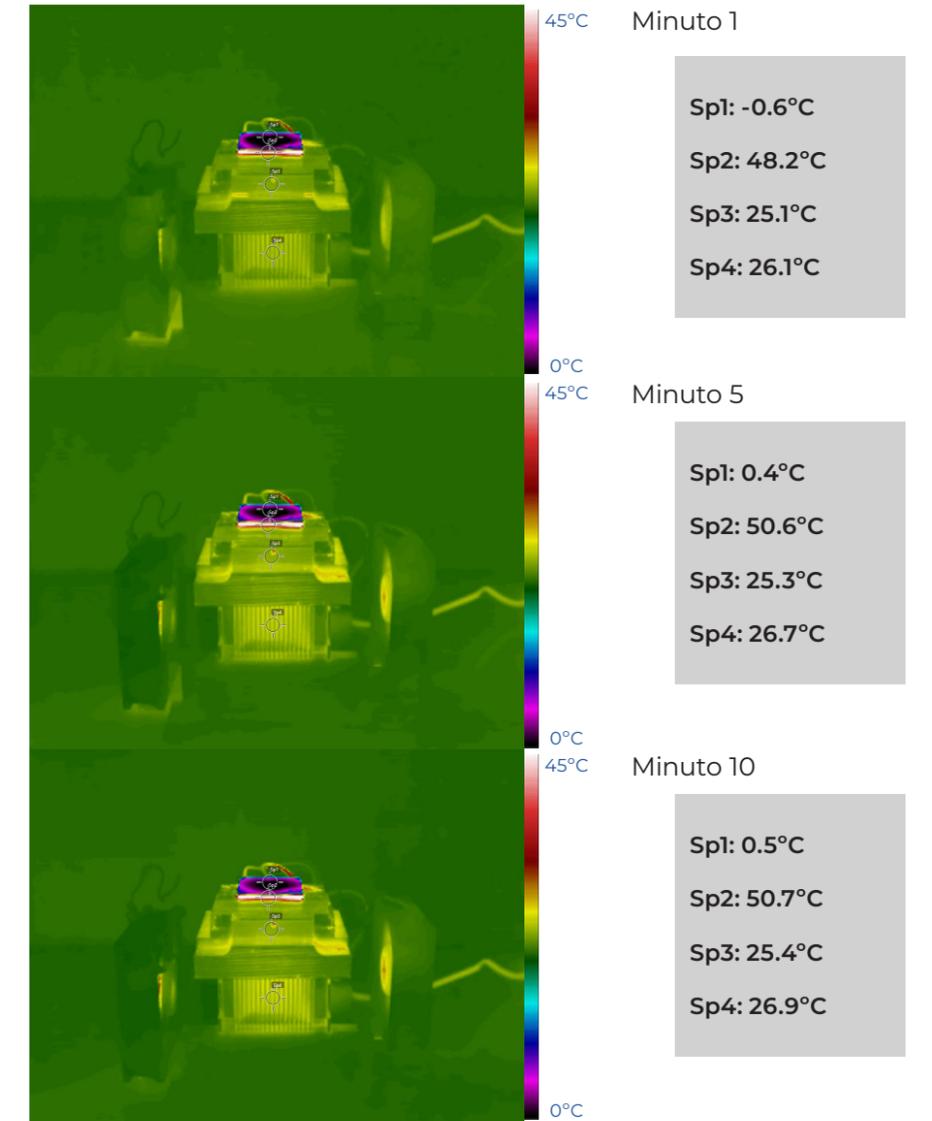
Explicación

Tras conseguir resultados positivos en cuanto a la condensación del vapor de agua presente en el aire, con las siguientes pruebas se buscaba conseguirlo sin necesidad de depender de un volumen de agua inicial, para poder ampliar las localizaciones donde utilizar el dispositivo.

Es por ello que se probó de nuevo con un flujo de aire continuo. Y puesto que en las primeras pruebas se dieron fallos al colocar varios elementos sobre la célula, se optó por una disposición inversa, asegurando la correcta disipación del calor y utilizando la propia superficie de la célula como superficie de condensación.

Para extraer el calor, el dissipador superior se coloca con las aletas en la dirección paralela al flujo de aire.

Resultados



Conclusiones

La disipación de calor es adecuada y permite que la temperatura de la cara fría baje, llegándose a condensar algunas gotas de agua, puesto que se encuentra en torno a 0°C. Esta temperatura no se mantiene por debajo de los 0°C, pero sí por debajo de la de rocío.

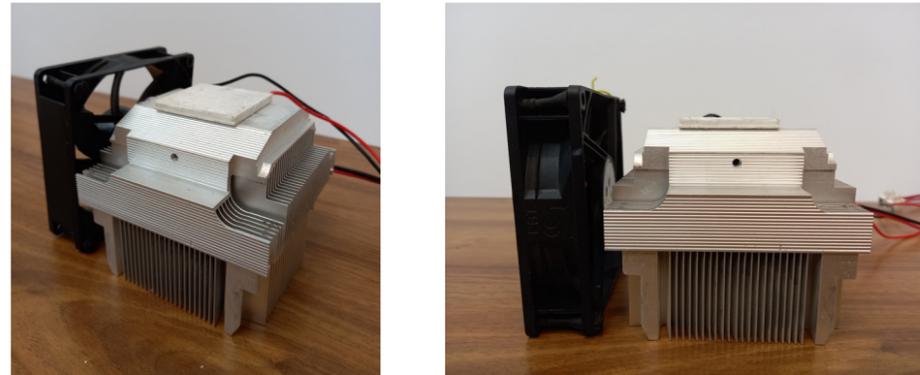
Entre el minuto 5 y 10 la temperatura fría varía solamente por una décima, lo que demuestra que la célula trabaja adecuadamente.

La temperatura de la parte caliente también se mantiene constante durante la duración de la prueba.

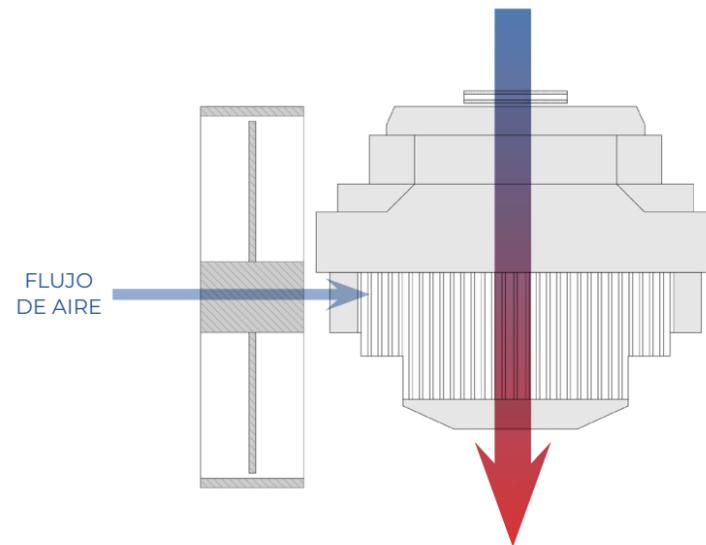
Los ventiladores del sistema regulan la temperatura del dissipador y lo estabilizan en 25°C.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 48\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.9^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento

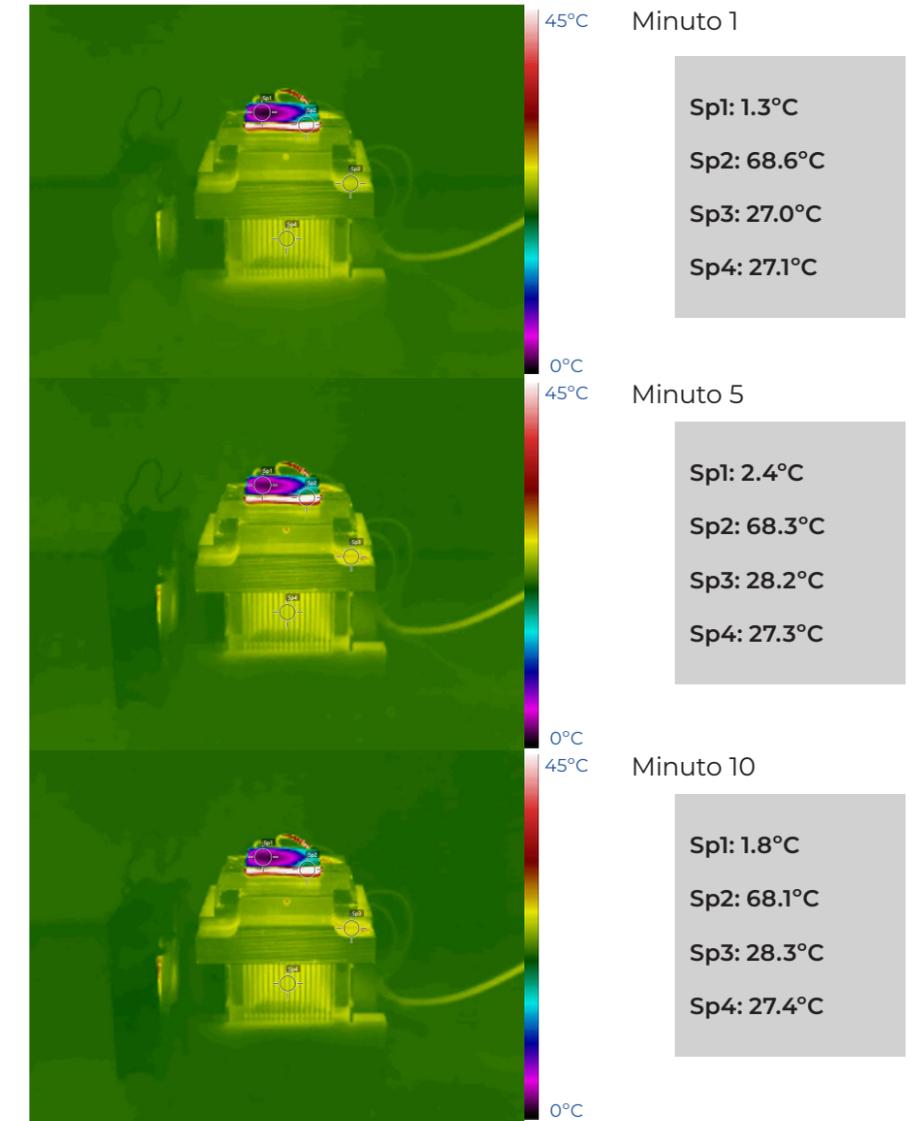


Explicación

Una vez conseguido disipar el calor y producir la condensación en la célula, con un montaje quizás excesivo en cuanto a flujo de aire y por tanto potencia consumida, se trata de hacerlo más eficiente, esto es, obtener los mismos resultados con una cantidad de energía utilizada menor. Por ello se opta por colocar un único ventilador que impulsa el aire a través de las aletas del disipador.

El disipador se mantiene con las aletas en dirección paralela al flujo de aire.

Resultados



Conclusiones

El flujo de aire es menor que en el caso anterior y su velocidad también, por lo que no se está extrayendo tanto calor. Al ir más despacio, el aire que pasa por el disipador absorbe más calor, pero a la vez está más tiempo en contacto con las aletas.

La cara fría de la célula no baja tanto su temperatura como en el caso anterior, sino que se mantiene en torno a los 3°C y no uniformemente en toda su superficie. Manteniéndose por debajo de la temperatura de rocío, por lo que siguen apareciendo gotas en su superficie.

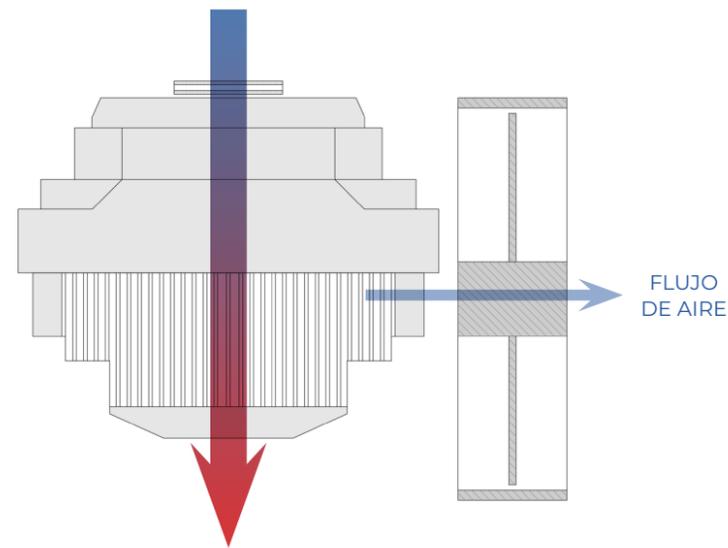
Debido a la dirección del flujo de aire, la parte de la célula que se encuentra más alejada del ventilador se calienta, empieza a absorber calor de la cara caliente.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23.0^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 47\%$
 $T^a \text{ rocío} = 11.1^{\circ}\text{C}$



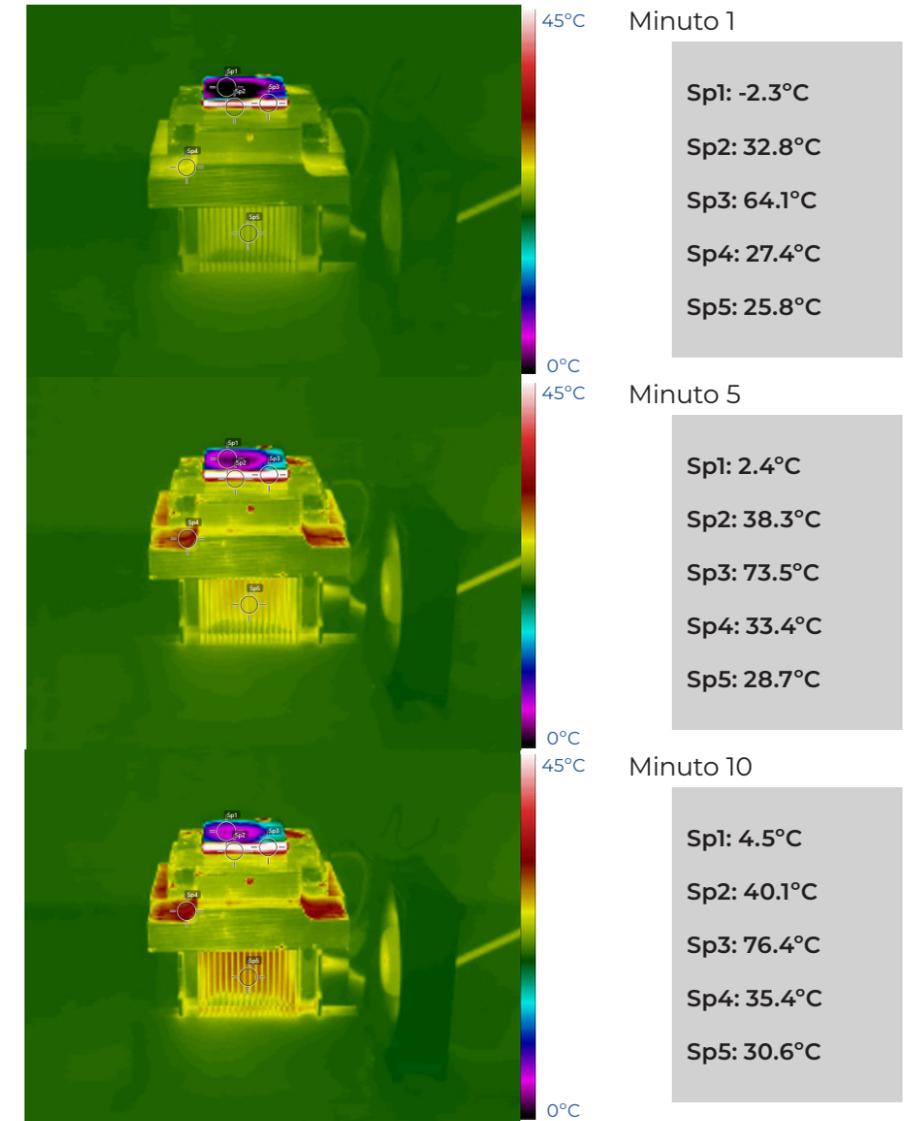
Esquema de funcionamiento



Explicación

Con las mismas consideraciones que en el caso anterior, pues se observa que el sistema funciona porque la cara fría de la célula consigue condensar el agua. En esta ocasión se sitúa el ventilador en el lado opuesto extrayendo aire de las aletas del disipador, para comprobar en que posición funciona mejor el montaje y cómo es más eficaz el flujo de aire creado.

Resultados



Conclusiones

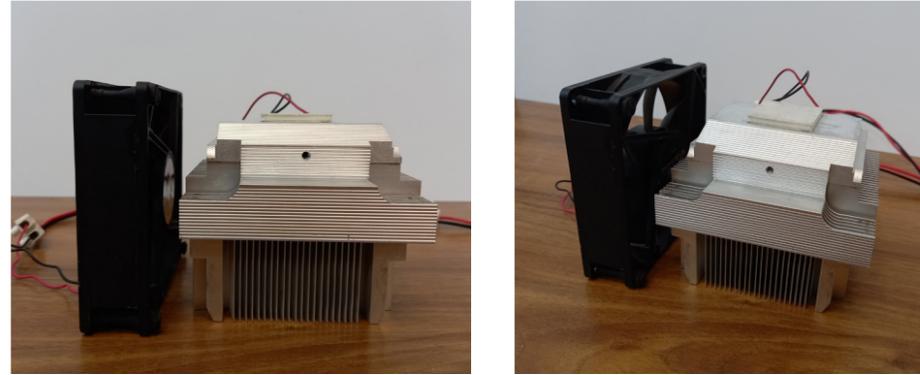
El cambio de temperatura en la parte fría de la célula durante la prueba es más rápido que anteriormente, con una diferencia entre el minuto 1 y 10 de 6.9°C. Por lo que la parte caliente también aumenta su temperatura en mayor forma, en 13°C.

Aún así se alcanza la temperatura de rocío y aparecen algunas gotas de agua, menos que en el caso anterior.

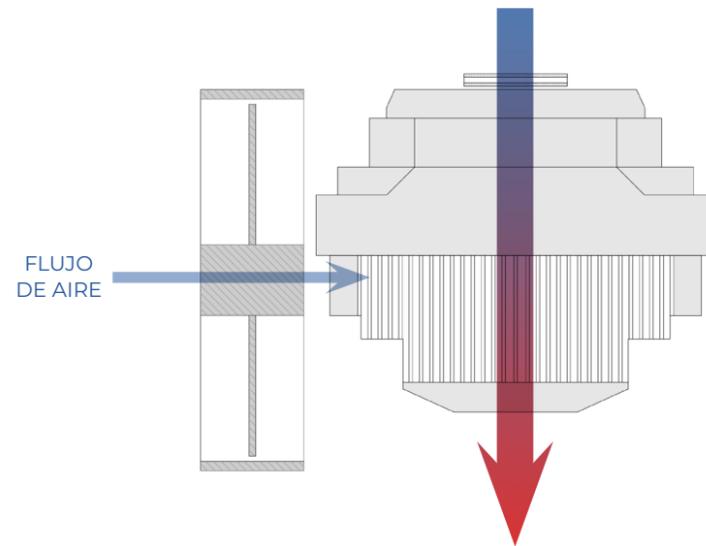
Todo esto se debe a que el ventilador, al no estar totalmente pegado al disipador o creando un flujo forzado a través de él, está moviendo aire de alrededor que no procede del disipador, por lo que no existe un flujo eficiente de calor entre las aletas de aluminio.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.0^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 48\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.2^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento

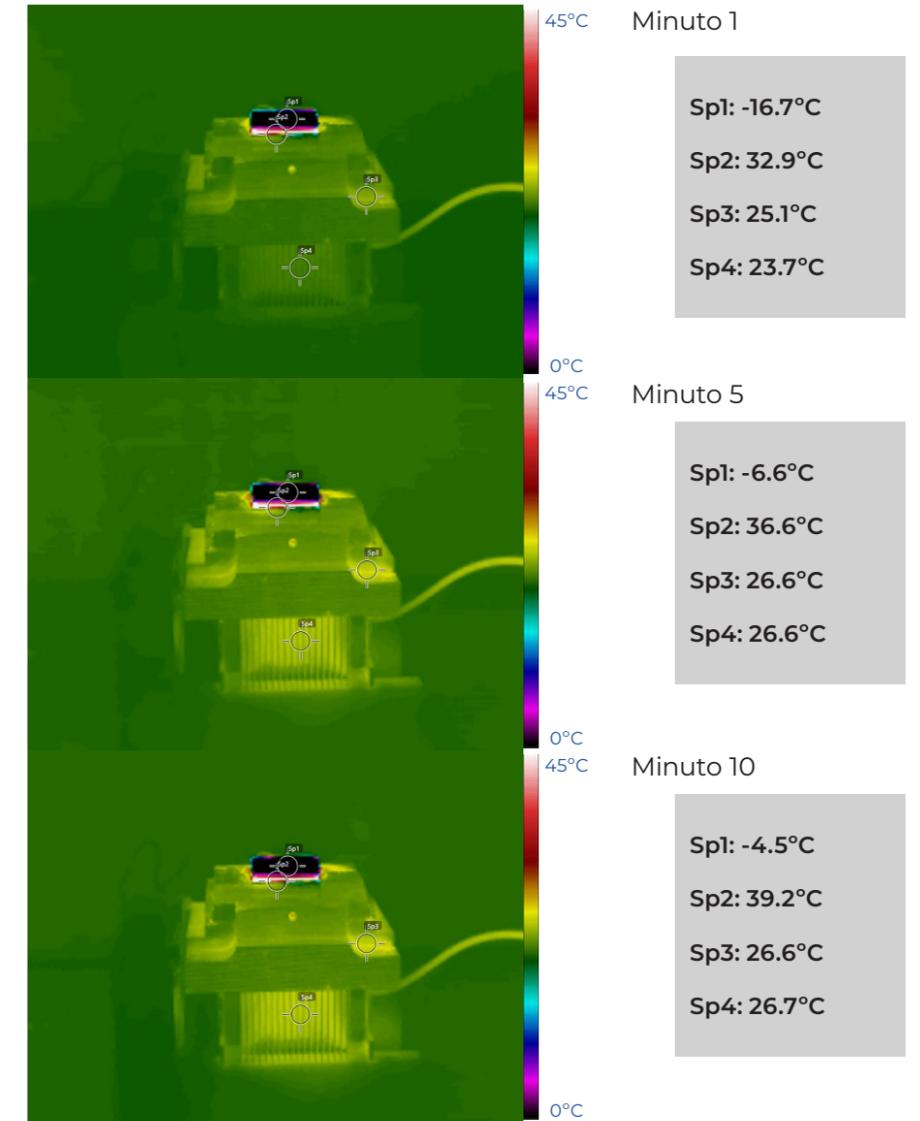


Explicación

En este caso la disposición es la misma que en la prueba 11, con la única diferencia que se cambia la célula por una más eficiente.

Esta célula Peltier posee unas dimensiones de 3cm x 3cm.

Resultados



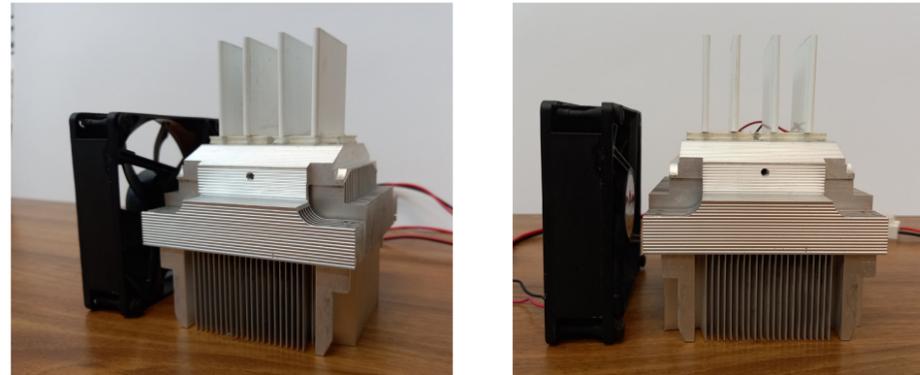
Conclusiones

Al colocar una célula de mejor calidad, los resultados obtenidos son mucho más óptimos. Los inconvenientes planteados en las pruebas anteriores no llegan a aparecer en este caso, pues la superficie fría de la célula se mantiene por debajo de los 0°C en todo momento y con grandes diferencias de temperatura. Por lo que se da la condensación del vapor de agua sin ningún problema.

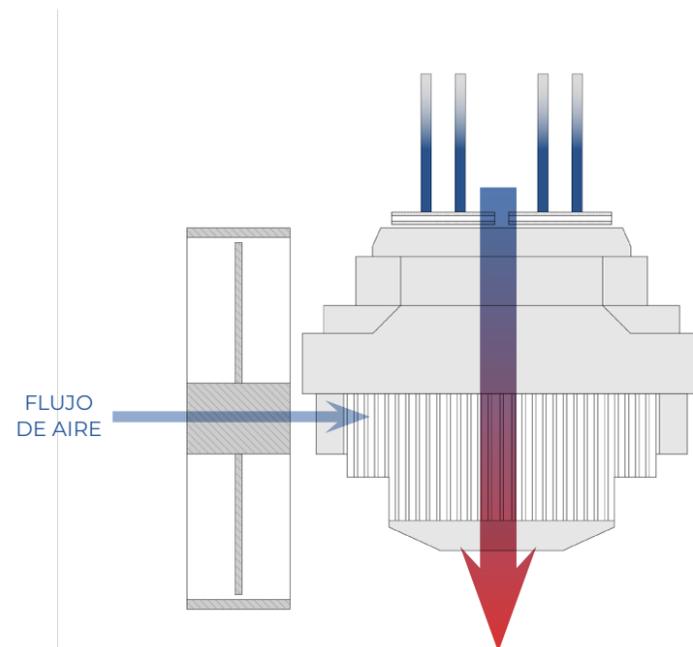
Además, no aparecen temperaturas muy elevadas ni en la parte caliente ni en el disipador, por lo que la colocación de un único ventilador es suficiente.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 48\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.9^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento



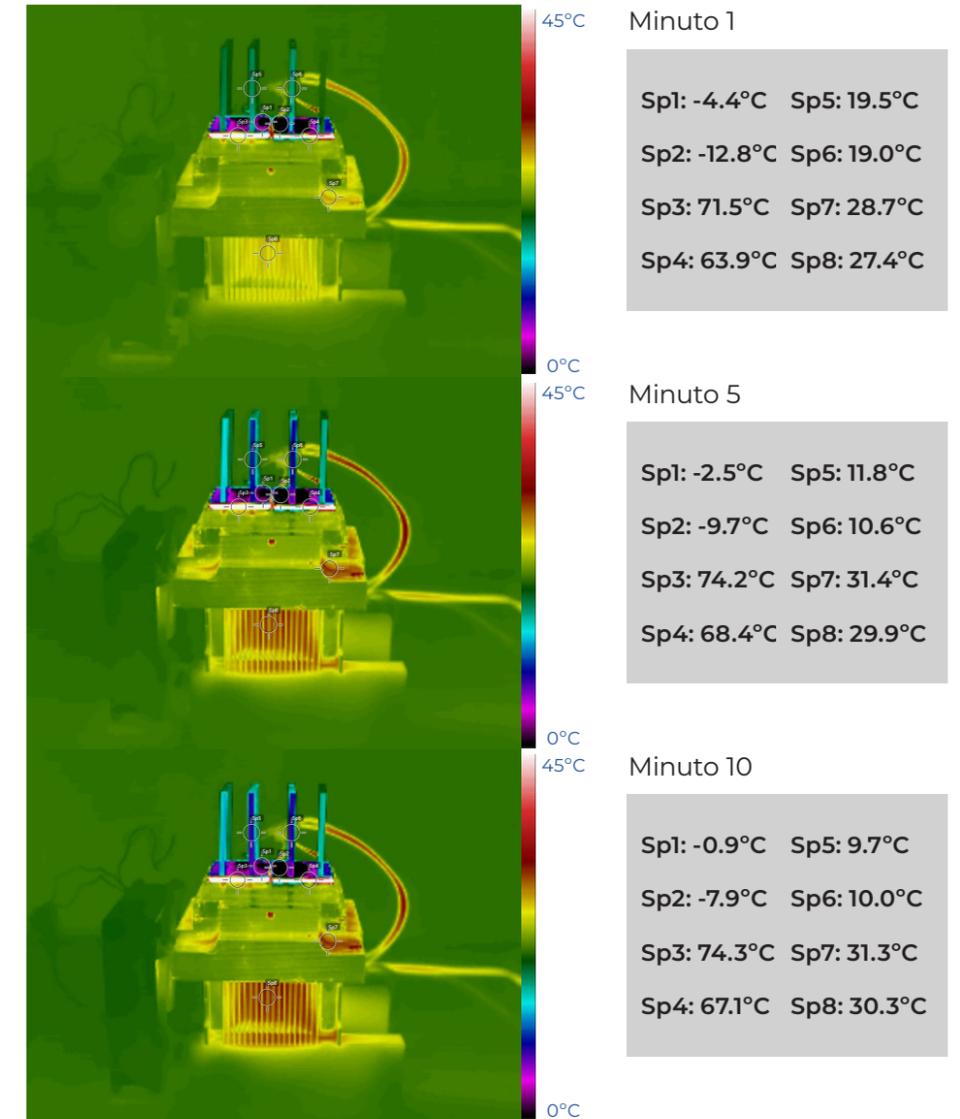
Explicación

Al haberse obtenido resultados óptimos en cuanto al trabajo de las nuevas células probadas, se continúan los experimentos buscando cumplir con otros de los parámetros iniciales, conseguir la máxima superficie de condensación posible. Para ello en esta prueba se colocan dos células y varias placas de aluminio sobre ellas, con el fin de comprobar si las células tienen la potencia suficiente para enfriar sus superficies.

Se empieza probando unos volúmenes reducidos para ver su respuesta al estar en contacto con la célula.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



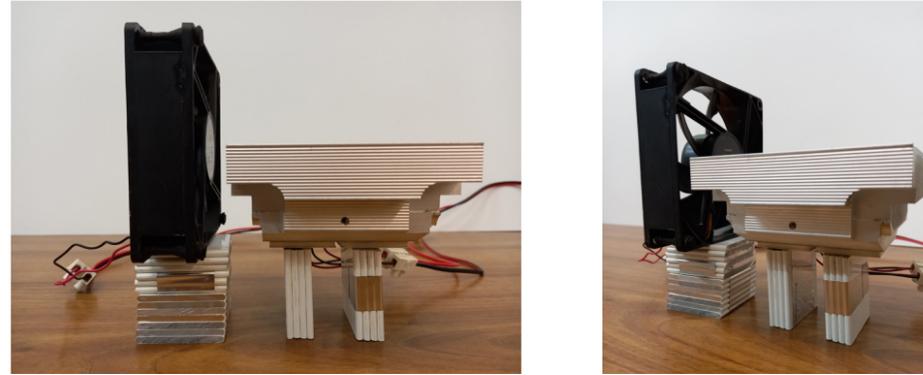
Conclusiones

El funcionamiento de las células es óptimo y consigue enfriar las placas de aluminio situadas sobre ellas. Apreciándose una pequeña diferencia entre las que se encuentran en la parte central, donde las dos células están próximas, y las de los bordes, pues las primeras bajan más la temperatura llegando a los 10°C , por debajo del punto de rocío.

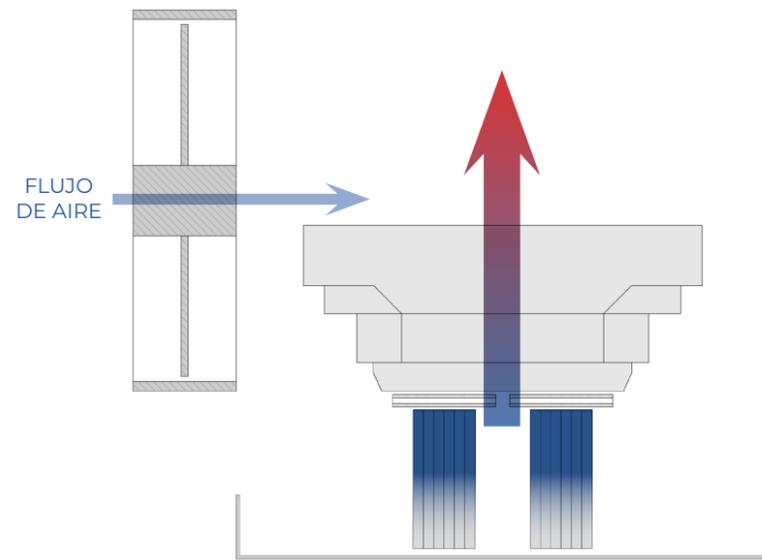
La célula de la izquierda aumenta más rápido su temperatura que la que se encuentra a la derecha. Sin embargo, en ambas aparecen gotas de agua, únicamente en aquellas partes en las que no se encuentran las placas de aluminio.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23^\circ\text{C}$
 $\text{HR} = 46\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.8^\circ\text{C}$



Esquema de funcionamiento



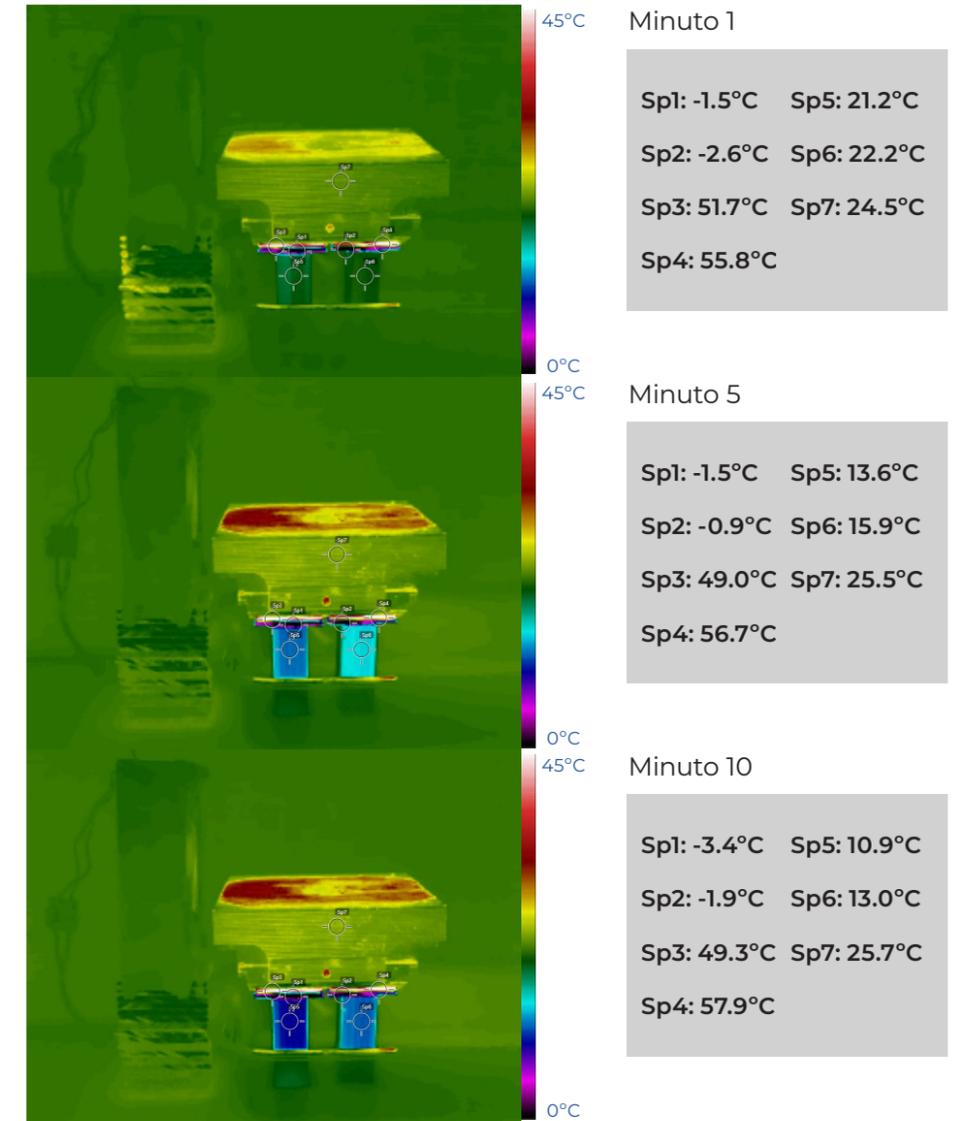
Explicación

El siguiente paso, tras obtener temperaturas por debajo del punto de rocío en las superficies de condensación, fue disponer estos elementos de forma que favorecieran la recogida de agua condensada en ellos. Esto es, utilizando la propia gravedad para que el agua discurra a través de los bloques formados de placas de aluminio.

Regulando siempre el peso a colocar sobre las células.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



Conclusiones

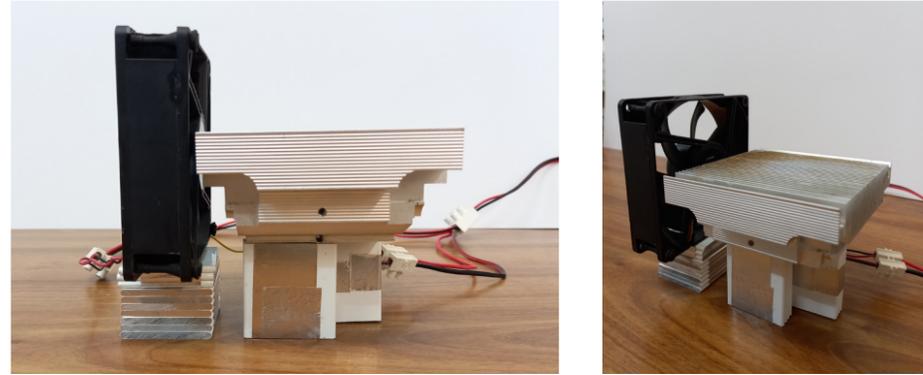
La célula y bloque de la izquierda se enfrían más debido a su proximidad al ventilador, por lo que reciben un flujo de aire continuo que disipa mejor el calor de la cara caliente y se regula el gradiente térmico de esta célula.

Aparecen gotas de agua en las superficies de las células donde no se encuentran los bloques de aluminio, al igual que en el caso anterior. Sin embargo, en los 10 minutos de prueba, las gotas no llegan a adquirir el tamaño necesario para romper la tensión superficial y caer.

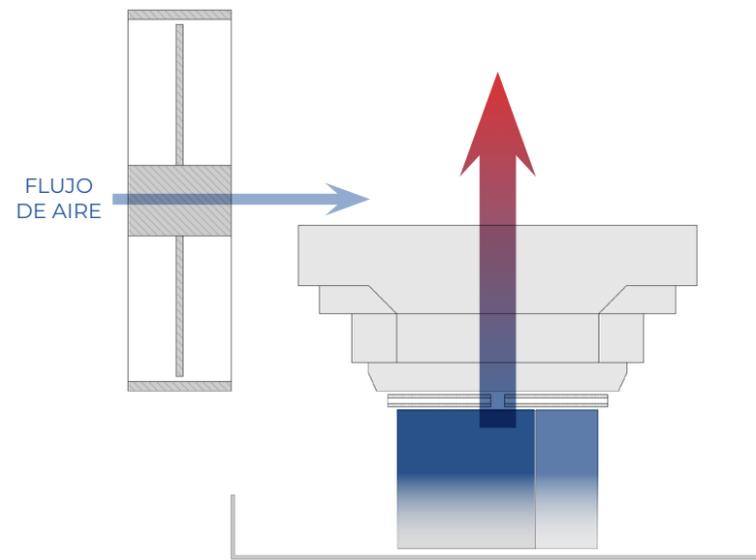
Las superficies de los bloques inferiores también aparecen húmedas al final de la prueba, pero se forman gotas muy pequeñas.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 46.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.9^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento

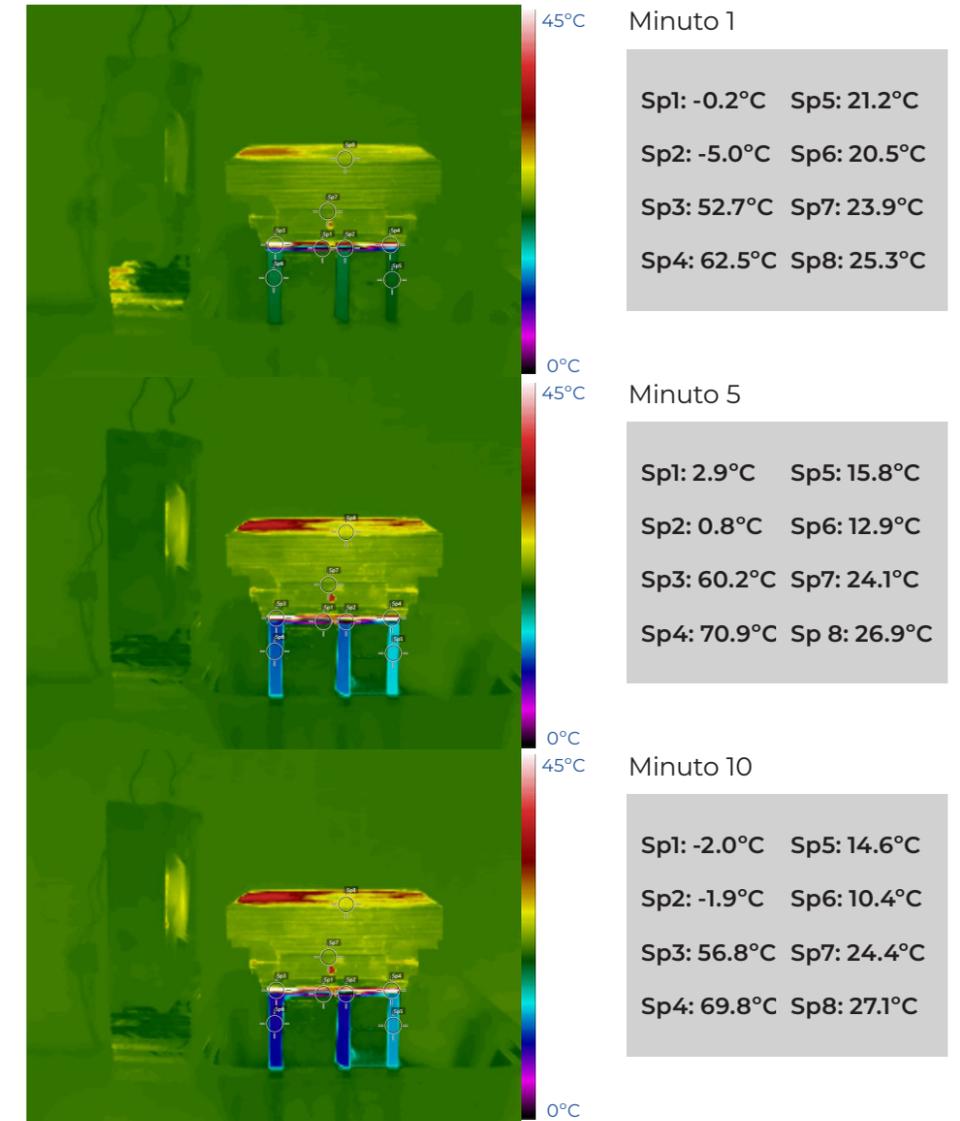


Explicación

Debido a que en la prueba anterior uno de los bloques conseguía bajar más su temperatura al estar más próximo al flujo de aire, se probó a situar ambos bloques de forma paralela al flujo de aire para que ambos puedan recibir un flujo de aire más estable y no se produzcan acumulaciones de calor entre ellos porque uno actúe de barrera.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



Conclusiones

No obstante, la diferencia de temperatura entre las células y bloques de la izquierda y de la derecha es menor que en el caso anterior, pero sigue existiendo, aunque con el tiempo se estabilizan.

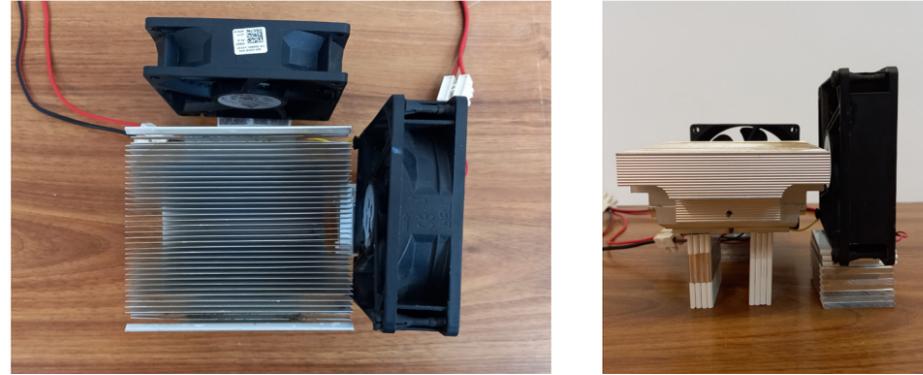
Los dos bloques están en contacto con ambas células, por lo que la transferencia de calor no es igual en toda la base del bloque de aluminio.

Siguen apareciendo gotas en las partes de las células que no están en contacto con los bloques, mientras que en los bloques aparecen pequeñas gotas en sus superficies.

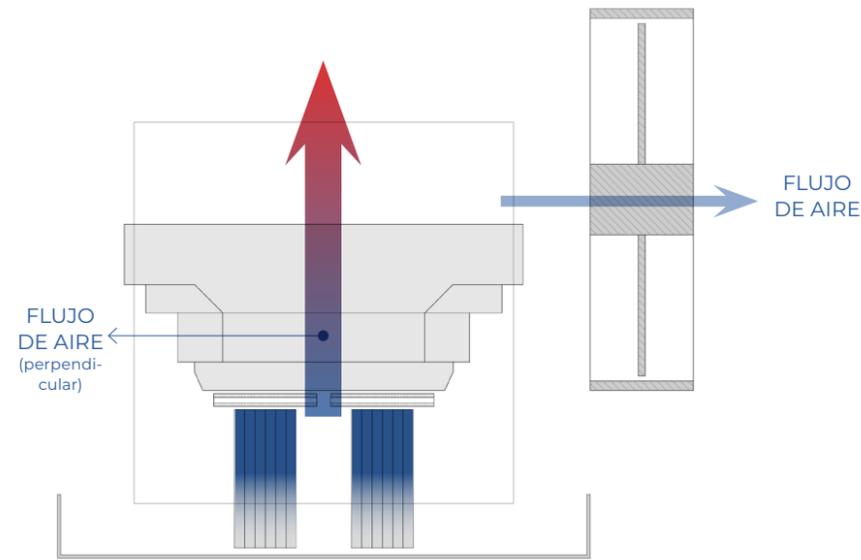
En este caso estas gotas son de mayor tamaño y han escurrido al recipiente inferior.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 48.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 11.6^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento

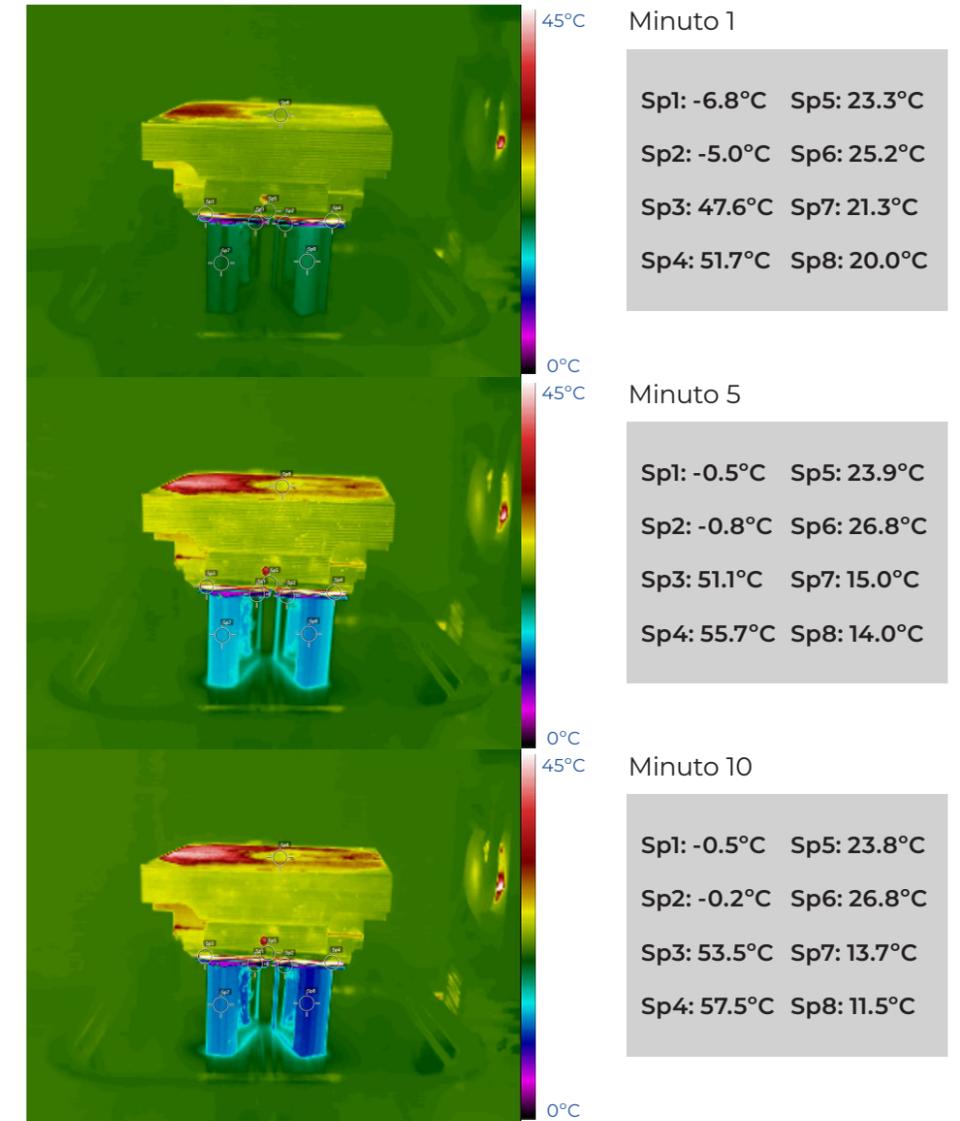


Explicación

Visto que, en las dos pruebas anteriores, independientemente de la colocación de los bloques, se originaba una acumulación de calor entre ambas células, lo cual podía generar que su eficiencia bajara. Se opta por colocar un segundo flujo de aire en sentido perpendicular al anterior y que pase por el espacio donde se está acumulando calor.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



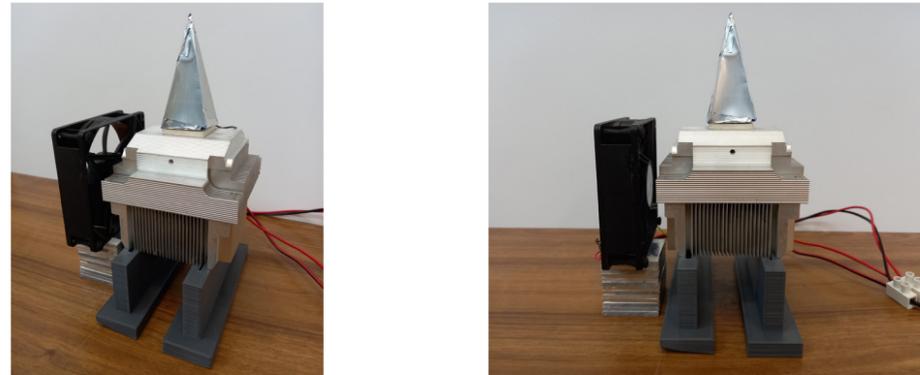
Conclusiones

Aunque se observa como la temperatura entre ambas células es más baja y no se produce una acumulación de calor, la transferencia a los bloques es menos eficiente. La temperatura que alcanzan estos está en torno a los 12°C , algo más alta que en los casos anteriores.

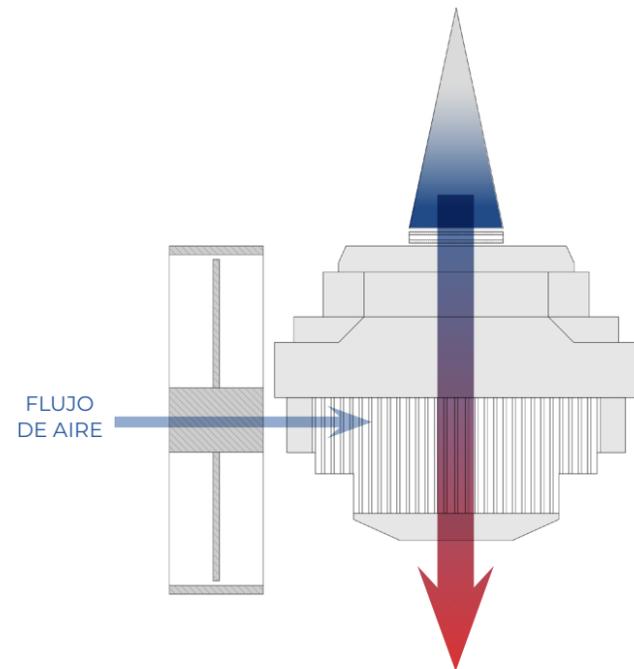
Aparecen gotas de agua en las células al igual que en casos anteriores, pero sin embargo las superficies de los bloques no aparecen húmedas. Podría deberse a un flujo excesivo de aire.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 46\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.3^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento



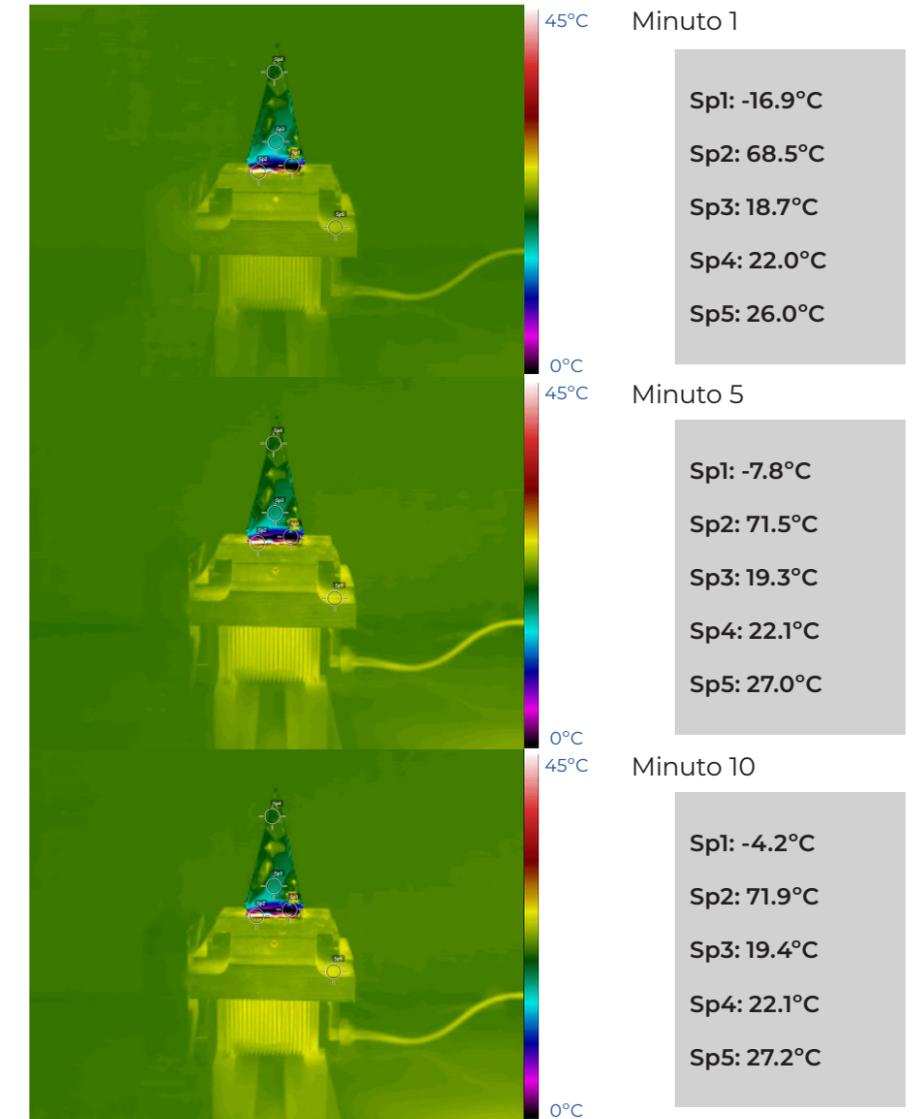
Explicación

Al comprobar que con las células Peltier se puede bajar la temperatura de otros elementos en contacto con ellas por debajo del punto de rocío, se comienza a estudiar la superficie de condensación para que sea lo más eficiente posible. La geometría ideal para este objetivo sería la esfera, seguida del cono, pues tiene la mayor superficie posible con el menor volumen. Es muy relevante el volumen utilizado, pues cuanto mayor sea, se necesitará más energía para enfriarlo.

Dado que conseguir la forma esférica era complicado con los medios a disposición, se optó por utilizar una forma piramidal, puesto que era más sencillo de elaborar y lo más cercano a un cono. Se vuelve a colocar una única célula Peltier que cubra su superficie totalmente con la pirámide

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



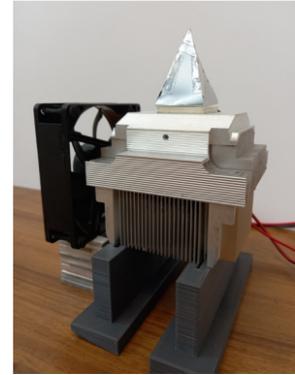
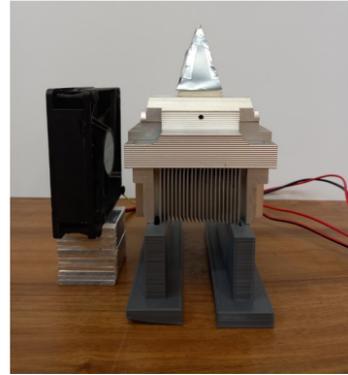
Conclusiones

La base de la pirámide no es estable para la transferencia de calor debido al proceso de montaje, pues no apoya perfectamente en la célula. Aun así, la parte inferior que es la que se mantiene más fría, está por debajo de los 0°C durante toda la prueba, llegándose a formar una pequeña capa de escarcha por la congelación del agua condensado.

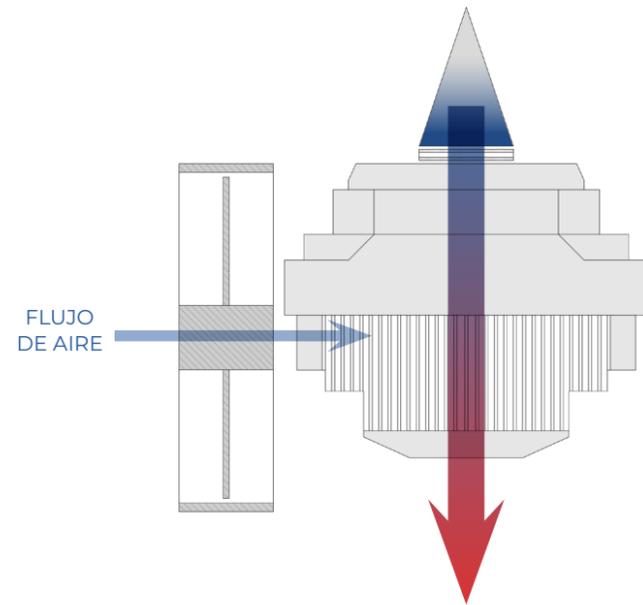
El resto de la pirámide también baja su temperatura aunque en menor medida, la parte media consigue llegar a 6°C por debajo de la temperatura ambiente.

Montaje

T^a atm. = 22.5°C
 HR = 46.5%
 T^a rocío = 10.5°C



Esquema de funcionamiento

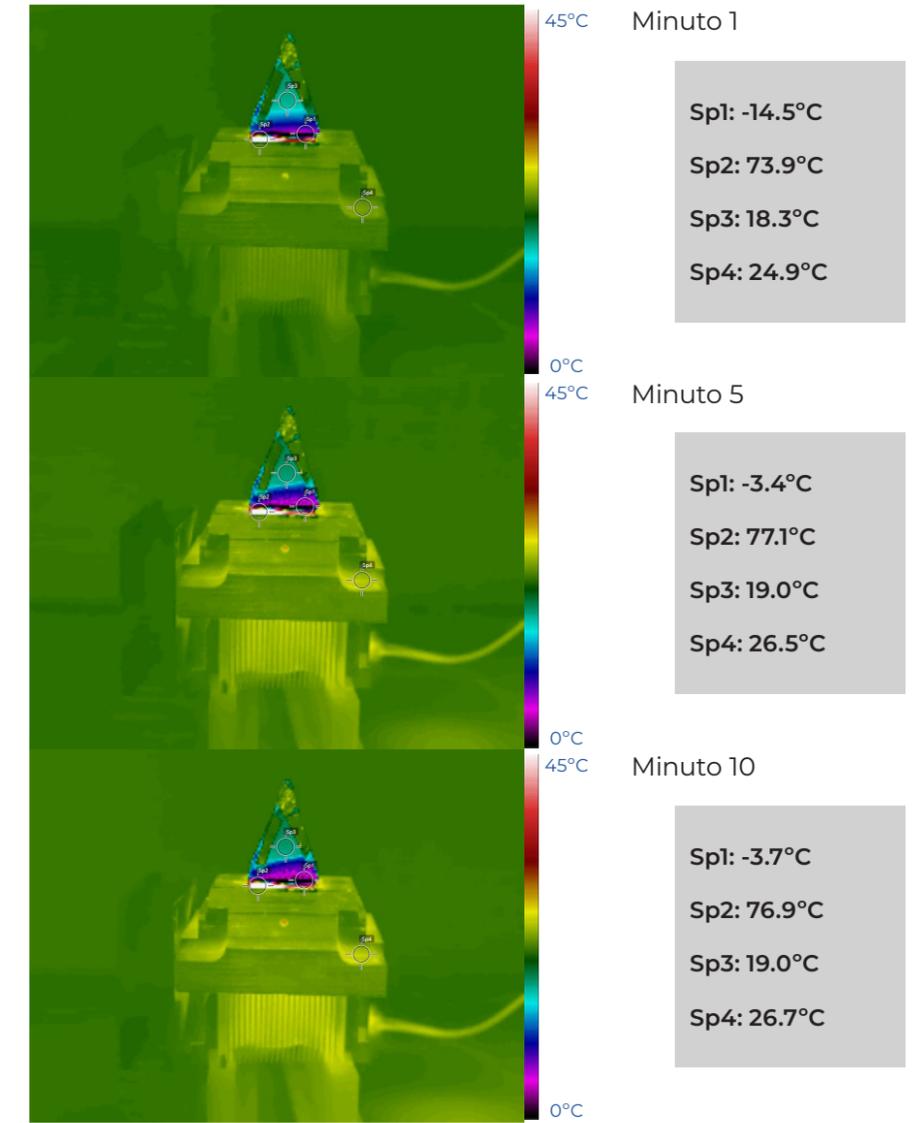


Explicación

Debido a que en el caso anterior la superficie de contacto entre la pirámide y la célula generaba problemas, se optó por repetir el montaje de la pirámide de forma que la base fuera más regular, aunque eso disminuyera el tamaño del propio volumen.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados

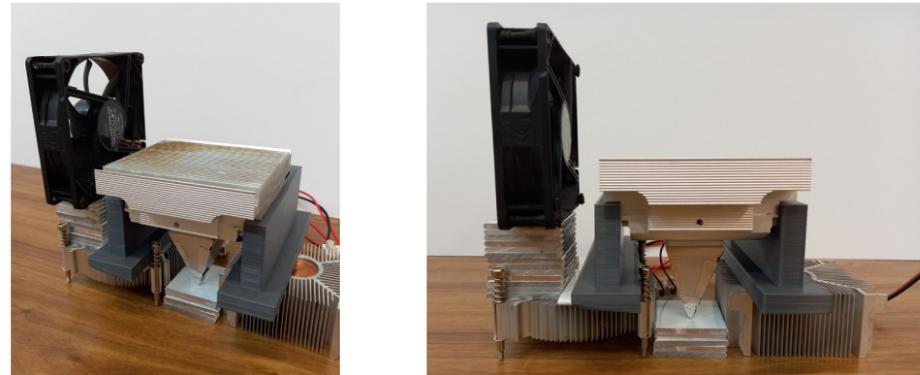


Conclusiones

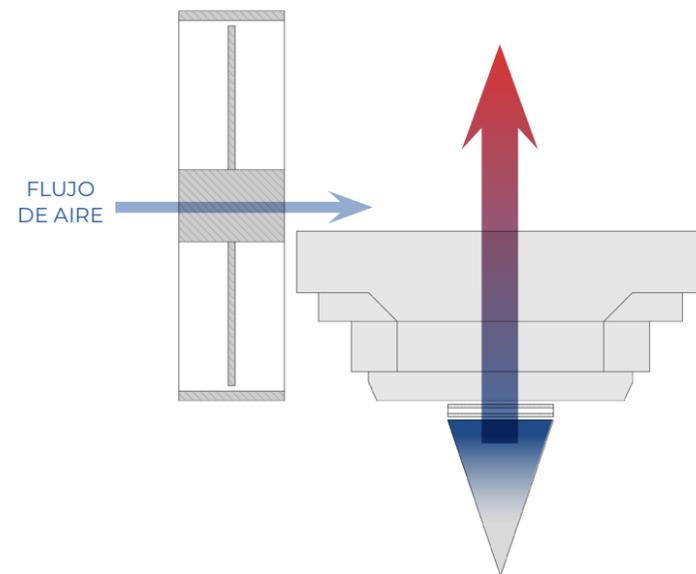
Al generar una mejor transferencia, aparecen gotas de agua en la parte baja de todas las caras de la pirámide.
 La parte inferior del volumen, aproximadamente hasta un cuarto de la altura total, llegaba a 10°C por debajo de la temperatura ambiente.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 46\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.3^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento



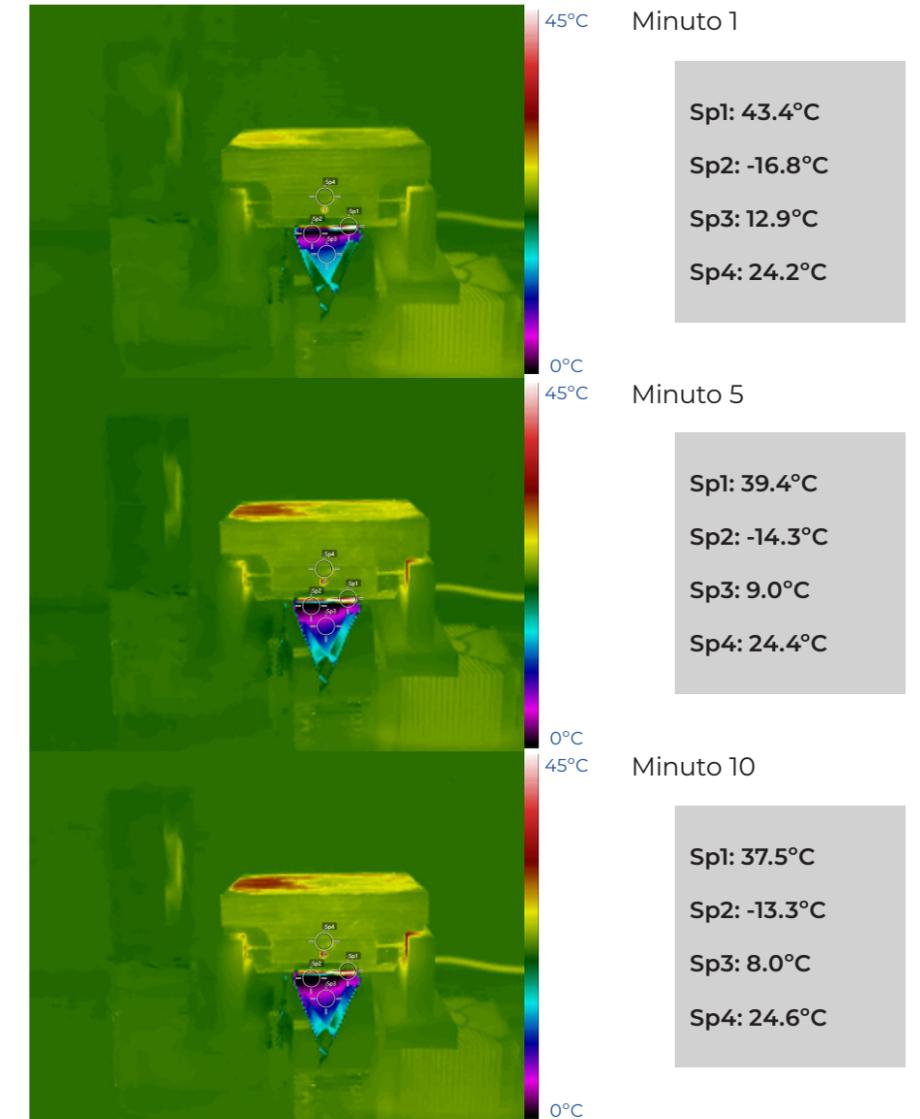
Explicación

Una vez comprobado que la pirámide de chapa funcionaba como superficie de condensación, se sitúa en la parte inferior para favorecer la recogida del agua que se condense en sus superficies.

Prestando especial atención al peso que se coloca sobre las células.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



Conclusiones

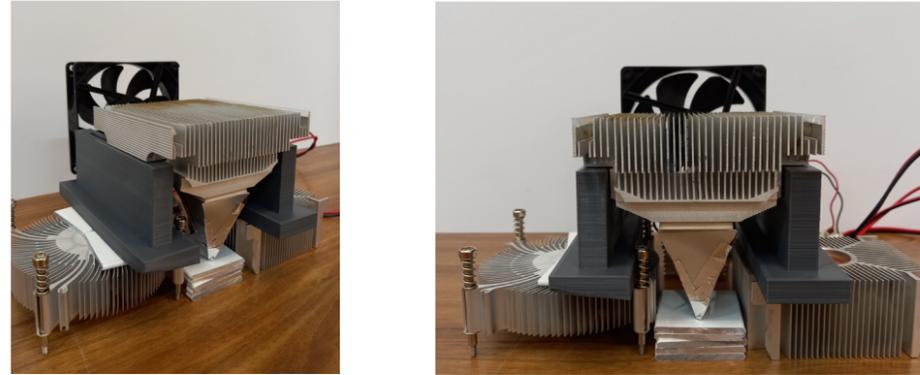
La pirámide se ha enfriado mucho más rápido que en los casos anteriores ya que la superficie de contacto es mejor debido al peso del disipador, que hace más estable la transferencia de calor entre célula y pirámide.

La base de la pirámide alcanza temperaturas por debajo de los 0°C, por lo que las gotas de agua formadas en esta parte y en la célula se empiezan a congelar. En el resto de las caras de la pirámide aparecen gotas de agua, pero estas no llegan a discurrir por la superficie.

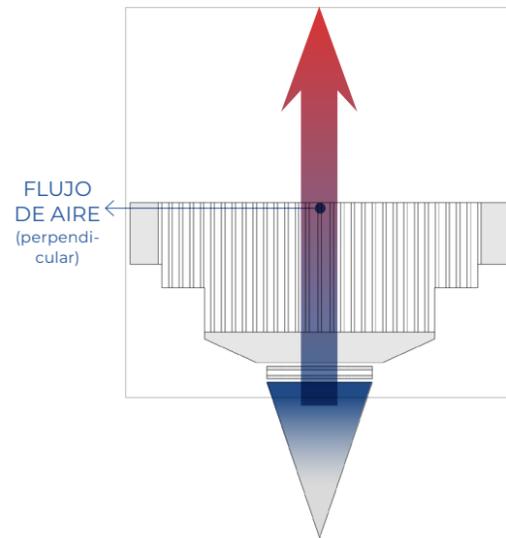
Debido a los elementos que forman el montaje de esta prueba, se acumula calor en los laterales interiores de los soportes en forma de T debido a que el calor de la célula no se disipa al completo. Esto tendrá que tenerse en cuenta a la hora de realizar el prototipo final.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 45.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.6^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento

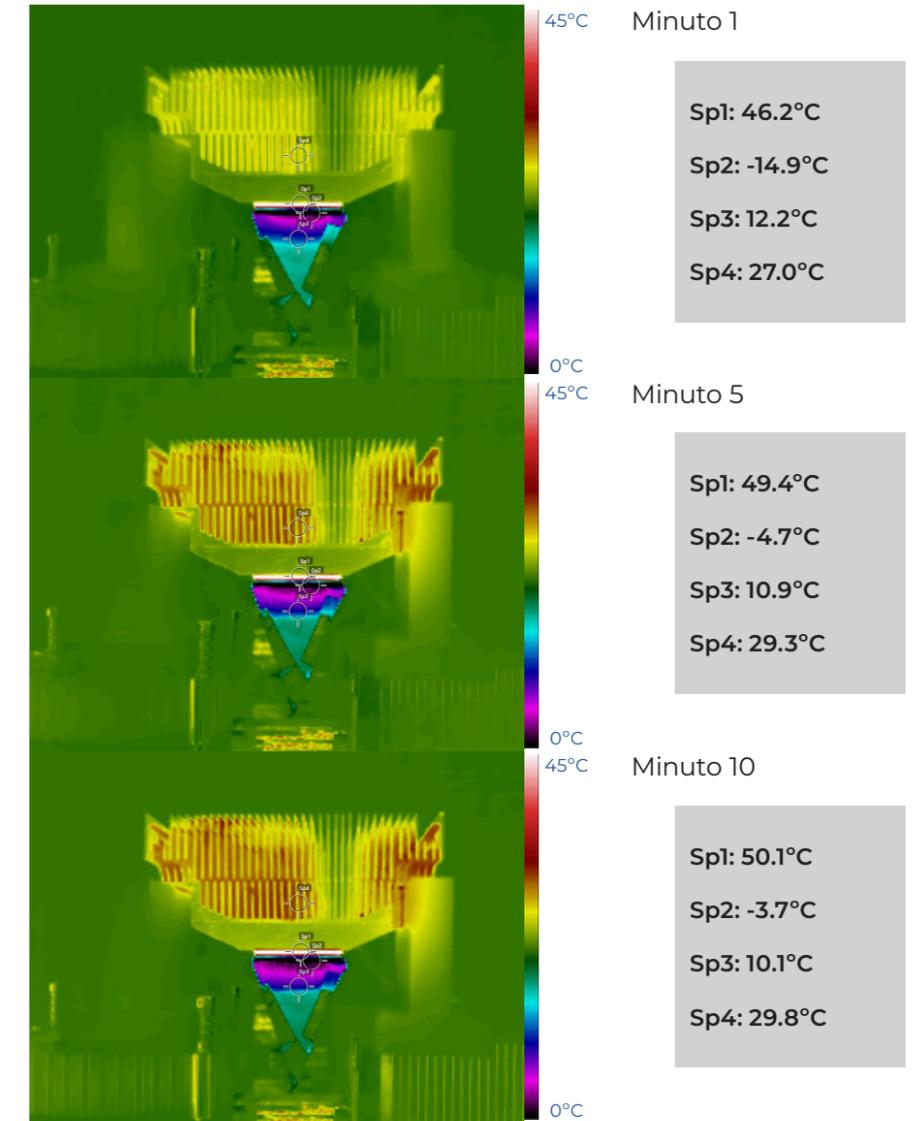


Explicación

Ya que en el caso anterior se producía acumulación de calor en los laterales del soporte, se prueba a colocar el flujo de aire de manera paralela a estos soportes para evitar dicho problema. Manteniendo siempre las aletas del dissipador en sentido del flujo de aire.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



Conclusiones

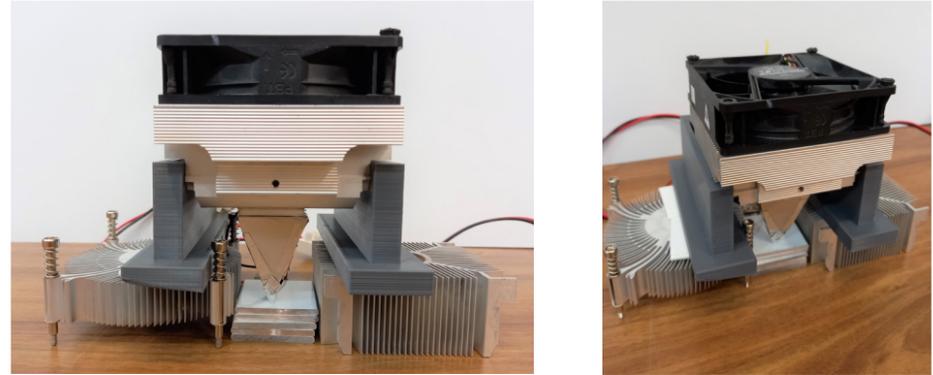
Se enfría mucho menos la pirámide puesto que está recibiendo continuamente un flujo de aire a temperatura ambiente de manera más directa que en casos anteriores.

Además, el aire al pasar a mayor velocidad no pasa suficiente tiempo en contacto con la pirámide y no absorbe el calor necesario para que el agua condense en la superficie.

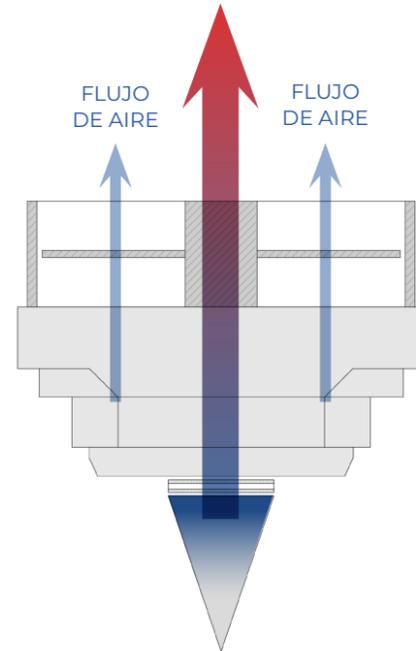
Condensan gotas de agua en las cuatro caras de la pirámide, pero únicamente en la parte de la base de esta. Mientras que en la célula se congelan las gotas en los cuatro laterales.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 45.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.6^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento

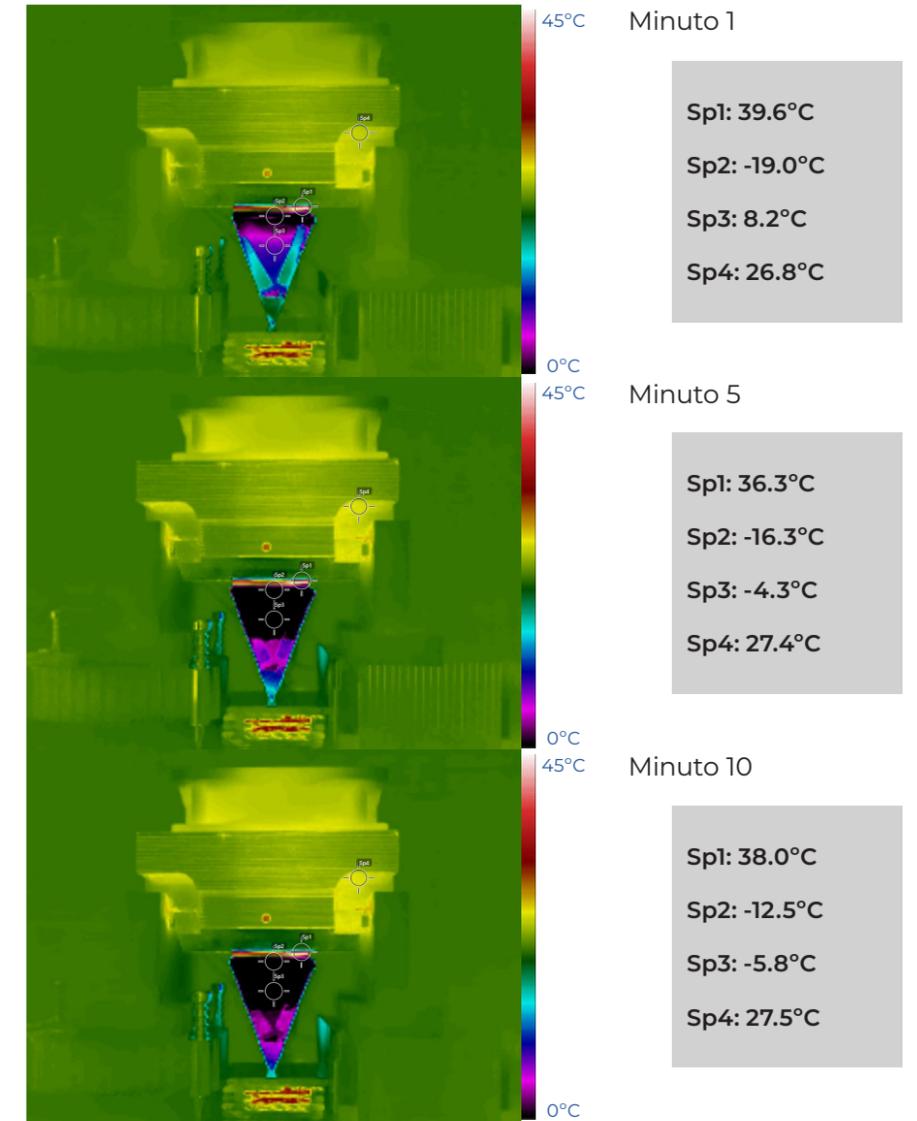


Explicación

Después de conseguir la condensación del agua en la pirámide e incluso la congelación de esta. Se considera volver a probar un flujo de aire en dirección vertical. Esto viene motivado por algunos de los modelos que han sido estudiados con anterioridad y para intentar asemejar este flujo a uno más natural.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



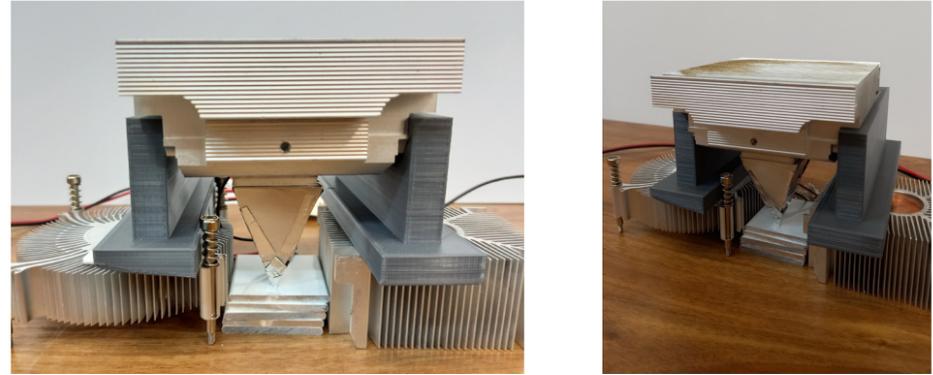
Conclusiones

El nuevo flujo de aire es mucho más eficiente que el empleado en los casos anteriores, disminuyendo de forma más considerable la temperatura de toda la pirámide. La mitad superior de la pirámide, en contacto con la célula, se encuentra a temperaturas inferiores a los 0°C, mientras que la inferior está en un rango entre 0°C y 5°C.

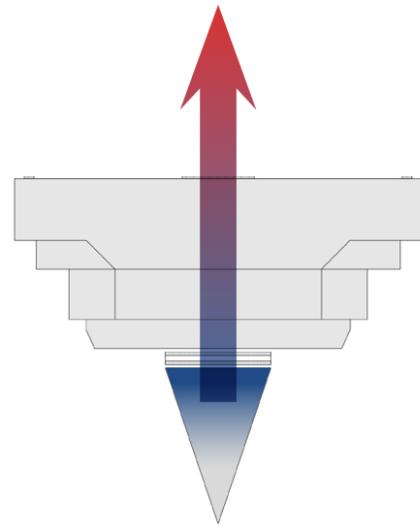
Se llega a congelar la mitad superior de la pirámide.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 23^\circ\text{C}$
 $\text{HR} = 45.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.6^\circ\text{C}$



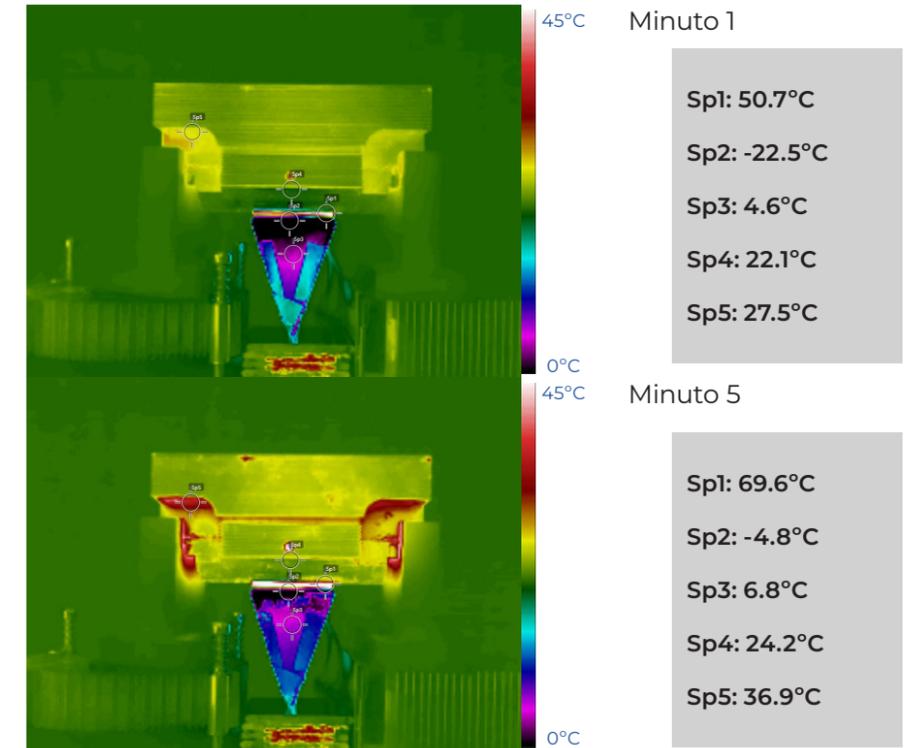
Esquema de funcionamiento



Explicación

Ya que en la prueba anterior el montaje había resultado muy positivo en relación a todos los obtenidos hasta el momento. Se intentó probar si el funcionamiento se mantenía al eliminar el flujo forzado de aire generado por el ventilador.

Resultados



Conclusiones

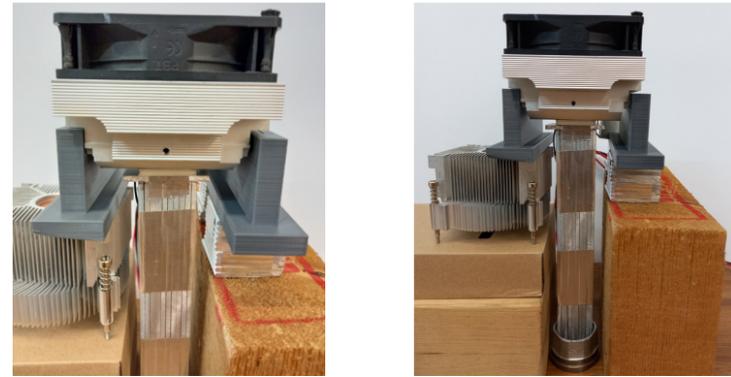
En los primeros minutos de la prueba, tanto la célula como la pirámide se enfrían por debajo de los 0°C. Sin embargo, el calor no se disipa de manera correcta y empieza a sobrecalentarse todo el sistema, aumentando la temperatura de la parte fría de la célula.

Al principio se condensa el agua en la parte de la base, pero al aumentar la temperatura de la célula, el agua obtenida se evapora.

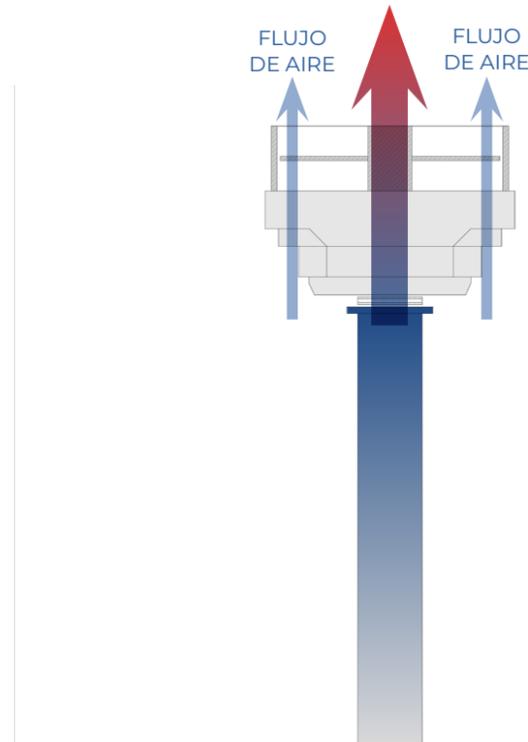
El aumento de temperatura ocurrió de forma tan rápida y se observaba como aumentaba la de la cara fría, que se optó por apagar el sistema para evitar posibles fallos de la célula producidos por alcanzar una temperatura demasiado elevada.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 45.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.1^{\circ}\text{C}$



Esquema de funcionamiento



Explicación

Con todas las consideraciones hechas hasta el momento, se optó por mantener el ventilador en la parte superior del sistema.

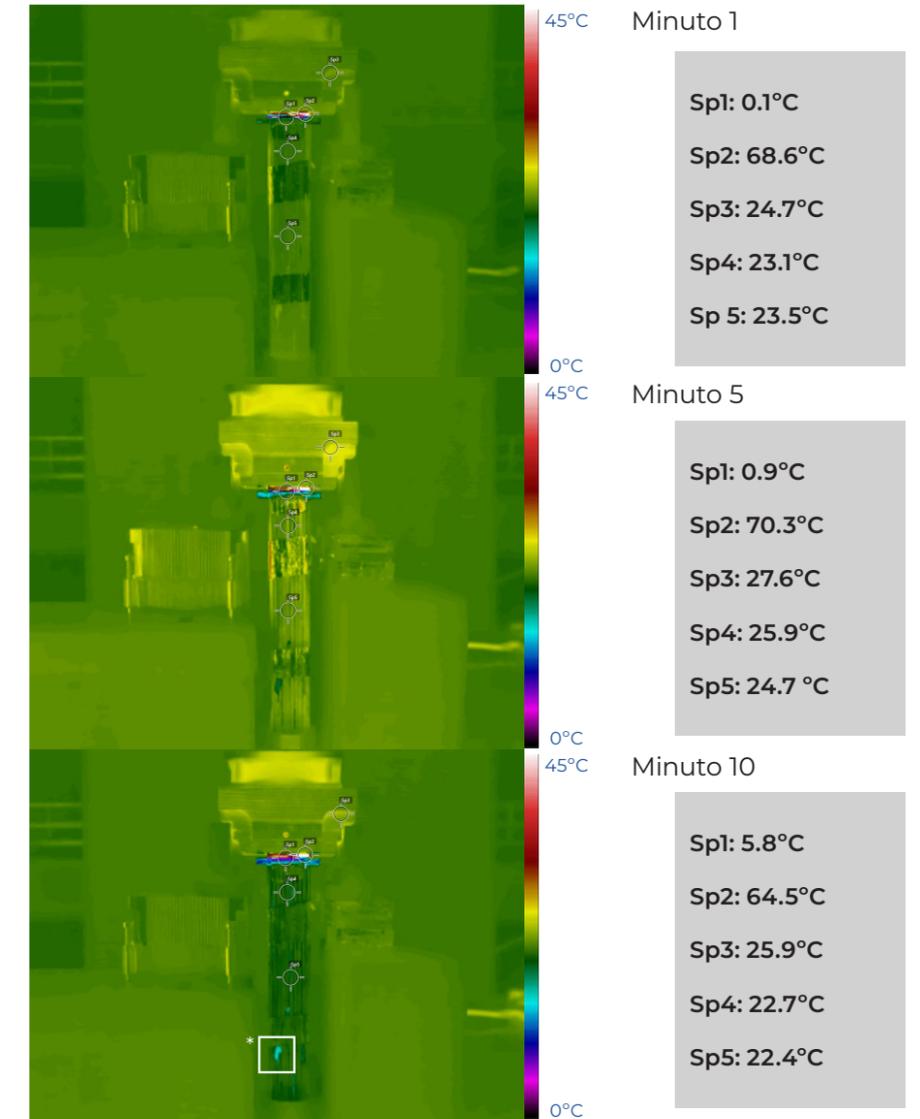
Además, ya que en los últimos casos el agua condensada se llegaba a congelar en las pirámides, se optó por generar un volumen más alargado que permitiera que el flujo de calor en él fuera más uniforme. Y generar a la vez una superficie de condensación mayor.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados

*Nota: Se observan algunos errores en las termografías ocasionados por irregularidades en el condensador

Conclusiones



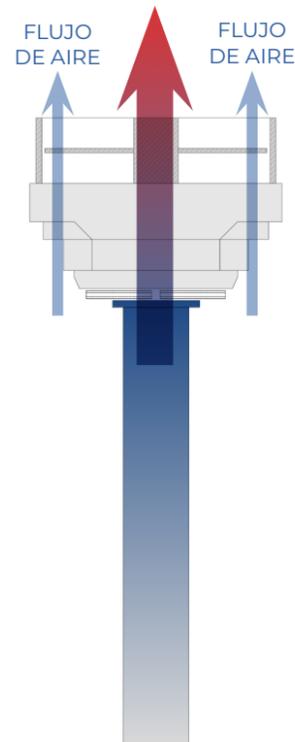
Al colocar el condensador cuyo volumen es mucho mayor a los anteriores, el tiempo empleado para bajar su temperatura también aumenta. Es por ello que se dejó al sistema funcionar durante un periodo de tiempo más largo (se añaden los resultados en Anexos, parte C).

Aparecen gotas de agua en la placa que se encuentra en contacto con la célula y conforma la base del condensador. Sin embargo, en el condensador solo aparecen gotas muy pequeñas, pues no todo el bloque de aluminio baja por igual de temperatura en el tiempo de la prueba.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 22.5^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 45.5\%$
 $T^a \text{ rocío} = 10.1^{\circ}\text{C}$

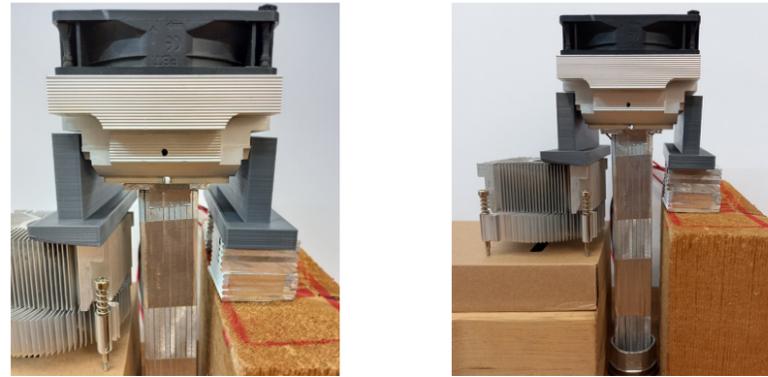
Esquema de funcionamiento



Explicación

Debido a que el tiempo empleado en la prueba anterior era muy amplio y no se conseguían generar prácticamente gotas en el condensador, se opta por la colocación de una segunda célula Peltier que mejore la eficiencia del sistema.

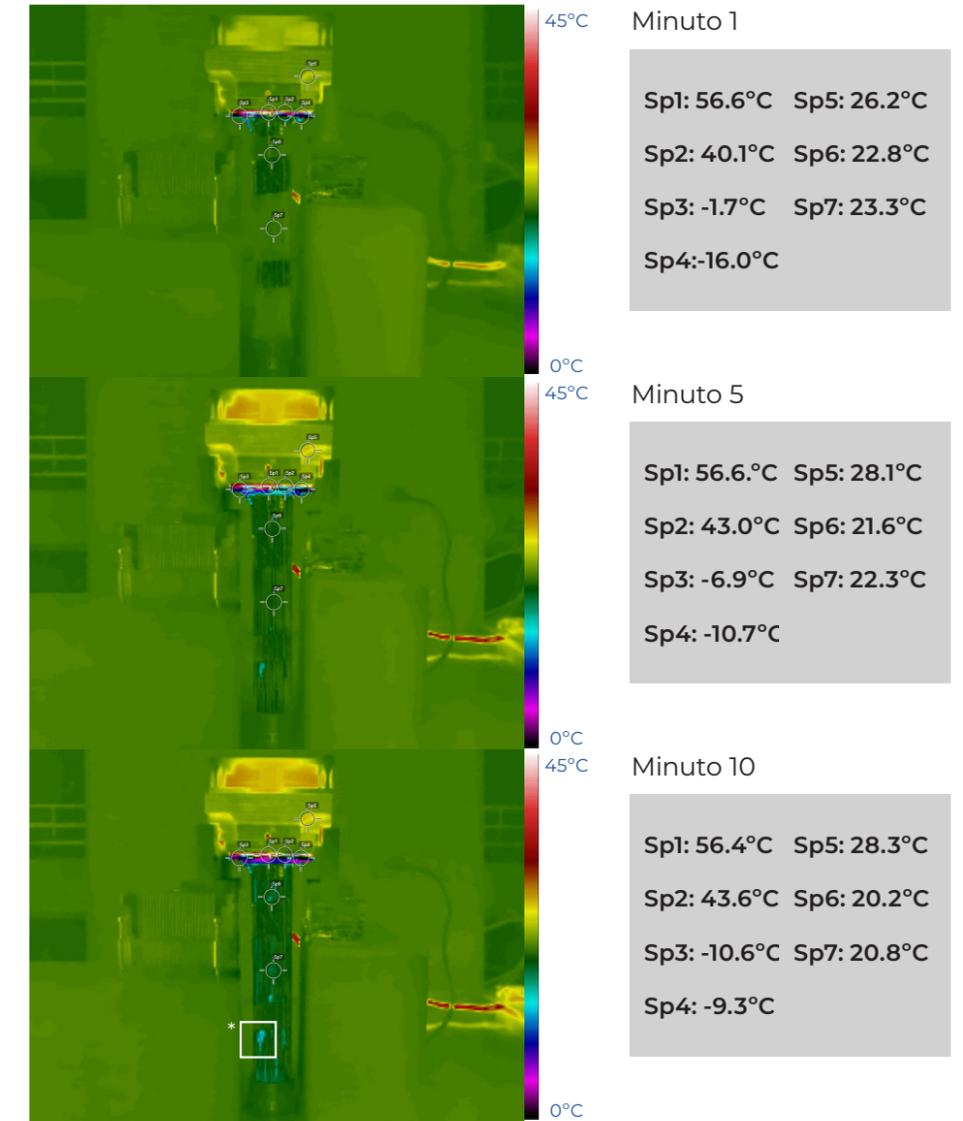
Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.



Resultados

*Nota: Se observan algunos errores en las termografías ocasionados por irregularidades en el condensador

Conclusiones



Funcionando un periodo de tiempo menor que en el caso anterior, en esta prueba la temperatura del condensador desciende más en todo su volumen.

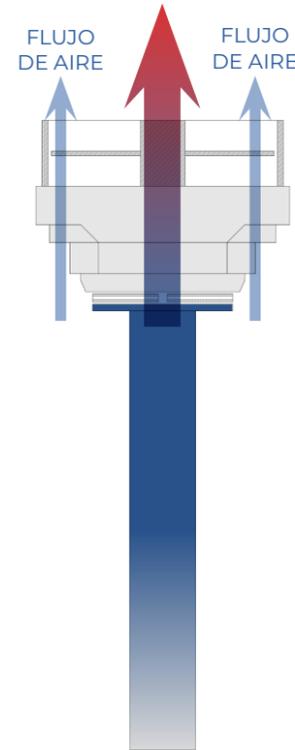
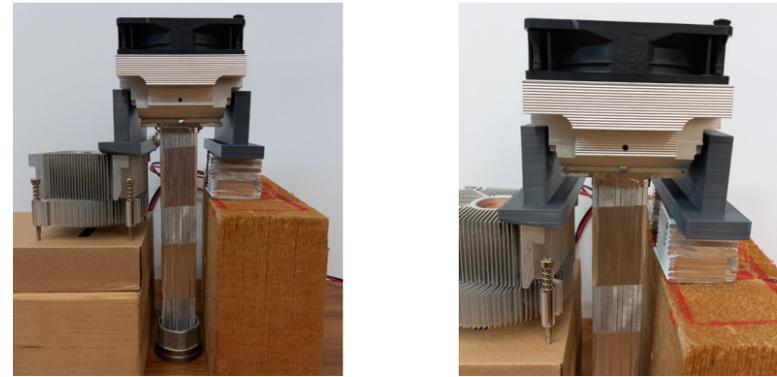
Aparece hielo tanto en la superficie de las células donde no se encuentra el condensador, como en la propia base del condensador.

En el volumen del bloque de condensación aparecen más gotículas que en el caso anterior y se llega a temperaturas bajo cero, debido a que funcionan dos células en vez de una.

Montaje

T^a atm. = 23°C
 HR = 42%
 T^a rocío = 9.4°C

Esquema de funcionamiento



Explicación

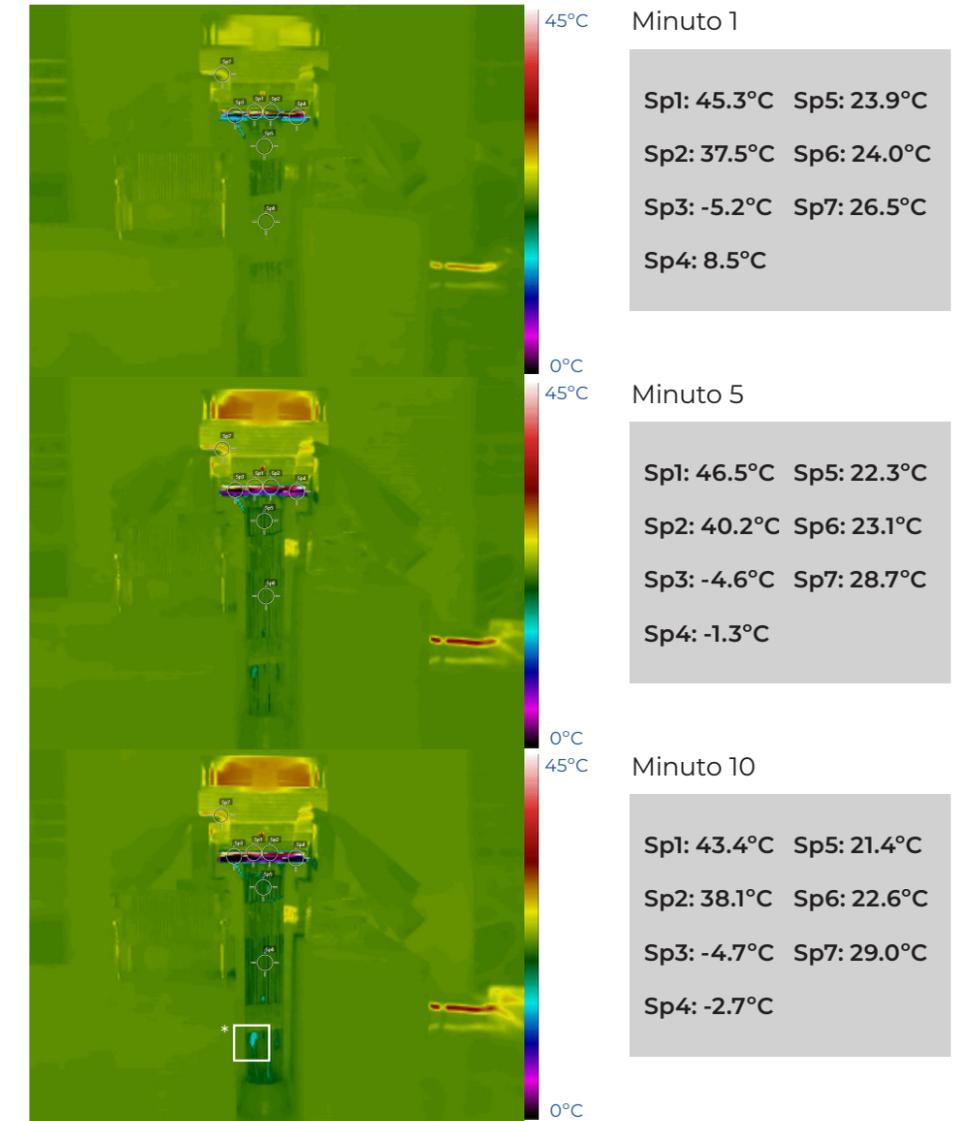
Al aparecer, en el caso anterior, una capa de hielo en la superficie de las células que no estaba en contacto con el condensador, se optó por aumentar la base de este último, de tal forma que esta cubriese la superficie total de ambas células, mejorando la transferencia de calor producida entre ambos materiales.

Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados

*Nota: Se observan algunos errores en las termografías ocasionados por irregularidades en el condensador

Conclusiones



En este caso se deja funcionar el sistema más tiempo que en el anterior. Aparece hielo en la cara inferior de la base del condensador, en la parte donde no se encuentra el volumen de aluminio.

Mientras que la condensación en el volumen es mayor que en los casos anteriores, llegando a caer gotas de agua por los laterales. Sin embargo, esto se produce después de un periodo de funcionamiento de una hora.

La temperatura máxima de las células se regula durante todo el proceso de enfriamiento, llegando a funcionar de forma estable.

Las irregularidades de la superficie del condensador en esta prueba produce que las gotas no discurren de manera adecuada y que cuando lo hagan se introduzcan por las tiras de cinta de aluminio utilizadas para unir el bloque.

Prototipo Final

08

Basada en las diferentes pruebas explicadas en el apartado anterior, la configuración del prototipo final se llevó a cabo utilizando los siguientes elementos:

- » 2 Células Peltier 12V.
- » Disipador de calor.
- » Ventilador.
- » Bloque de aluminio, denominado “condensador”. En el cual se añadió una pieza rectangular de aluminio en su base que cubriese completamente la superficie de las dos células.

También se forró el bloque completamente con cinta de aluminio para crear una superficie lo más continua posible, corrigiendo las imperfecciones que poseía el conjunto de placas y evitando que quedaran huecos entre ellas. Para ello, se empezó forrando el bloque desde la parte inferior, de tal forma que las juntas entre los bordes de la cinta quedasen cubiertas en sentido de la caída del agua, para que las gotas recogidas no pudieran filtrarse hacia el interior de la capa creada por efecto de la capilaridad de la junta.

- » Estructura de soporte realizada en impresión 3D. Se elaboró un conjunto de plataformas y soportes que permitieran disponer los elementos mencionados anteriormente y facilitar el funcionamiento del sistema.

Para ello se crearon 3 plataformas, una inferior en la que se sujetaran los pilares en los que irían colocadas las siguientes plataformas, que dispone de un espacio central para la recogida del agua que se condensa. Una plataforma intermedia en las que se apoya la base del condensador sobre la que se encuentran las células Peltier. Y una plataforma superior sobre la que va colocado el disipador de calor.

Se trata de una estructura lo más liviana posible, permitiendo que no se produzca acumulación del calor producido por las células y que se cree un flujo de aire adecuado para el funcionamiento del conjunto.



Ventilador

Disipador de calor

Células Peltier

Condensador

Estructura de soporte

Detalle células Peltier



Resultados

09

El proceso experimental realizado planteó diferentes dificultades a la hora de conseguir los objetivos y consideraciones expuestas, tanto al principio de la investigación como después de estudiar los modelos existentes, para conseguir un modelo funcional de extracción de agua dulce del ambiente. Siendo algunas de las más destacadas: aquellas relacionadas con el proceso de disipación de calor generado por las células Peltier, pues a pesar de estar claro que debía realizarse con un flujo de aire, ha sido complicado encontrar tanto la dirección como la intensidad para que el funcionamiento fuera eficiente. Aun así, se observa en algunos puntos, como el espacio entre células o en el propio ventilador, que se siguen produciendo acumulaciones de calor que pueden llegar a interferir en el funcionamiento. Además de incluir las características del disipador de calor en este punto, pues podría optimizarse el diseño de este para mejorar el flujo de calor.

Otro de los problemas planteados según transcurrían las diferentes pruebas, es la transferencia térmica entre las células Peltier y los volúmenes donde se tiene que producir la condensación. En algunos casos debido a que la superficie de contacto entre ambos es irregular o no es estable y en otros porque se observa como se generan pérdidas, por ejemplo, en las últimas pruebas cuando se empieza a congelar esta parte y la transferencia no es directamente al bloque. Para ello se podría plantear soluciones, con vistas a futuras investigaciones, como que el volumen realizado deba cubrir completamente la superficie de las células Peltier y, además, disponer de un tratamiento térmico en esta unión, como por ejemplo la aplicación de pasta térmica que hará más eficiente la transferencia.

También se podría decir que las características de los volúmenes han sido un conflicto, pues se debería realizar un estudio detallado de la relación entre estas medias, el tipo de células Peltier utilizadas y la máxima cantidad de agua que se puede obtener. Pues con el

condensador que se plantea tanto en las últimas pruebas como para el prototipo final, se observa que el periodo de tiempo para enfriarlo es muy largo, pero si se coloca un volumen menor como el de las pirámides, se llega a producir hielo. Con lo que, para mantener el último volumen, que es el que mejores resultados ha aportado, podría optarse utilizar unas células Peltier que fueran más eficientes.

Tras todas estas observaciones y habiendo explicado en el punto anterior el prototipo final desarrollado, se conectó este de nuevo para obtener sus correspondientes resultados. En este caso, al igual que en los anteriores en los que se utilizaba el condensador, el tiempo de funcionamiento fue elevado. Dejando las células en funcionamiento el tiempo necesario para enfriar por completo el condensador y observar cómo se producía la condensación en él.

Tras una hora de funcionamiento, se empieza a ver cómo se forman gotas en la superficie del condensador. Habiéndose formado mucho antes en la base de este, que se encuentra en contacto con las células Peltier, e incluso se intuye la formación de hielo. Sin embargo, no será hasta las dos horas y media de funcionamiento, cuando la cantidad de agua condensada en forma de gotas es capaz de romper la tensión superficial del condensador y escurrir a lo largo del bloque hasta llegar a precipitar en la base del soporte, donde se recoge el agua condensada.

Siendo en este momento, cuando cae la primera gota, que el proceso se vuelve mucho más continuo y se observa cómo ocurre en varias ocasiones durante el periodo completo de prueba.

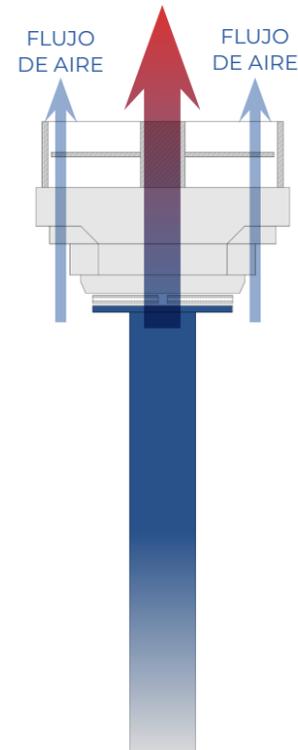
Con estos resultados se corrobora que es necesario conseguir una superficie con el menor número de irregularidades posible, para que el agua llegue a discurrir de forma continuada, pero también se considera necesario mejorar la transmisión térmica entre el bloque de aluminio (condensador) y las células Peltier, que debido a su proceso de construcción dispone de múltiples irregularidades que dificultan dicha transferencia térmica.

Montaje

$T^a \text{ atm.} = 26^{\circ}\text{C}$
 $\text{HR} = 45\%$
 $T^a \text{ rocío} = 13.2^{\circ}\text{C}$

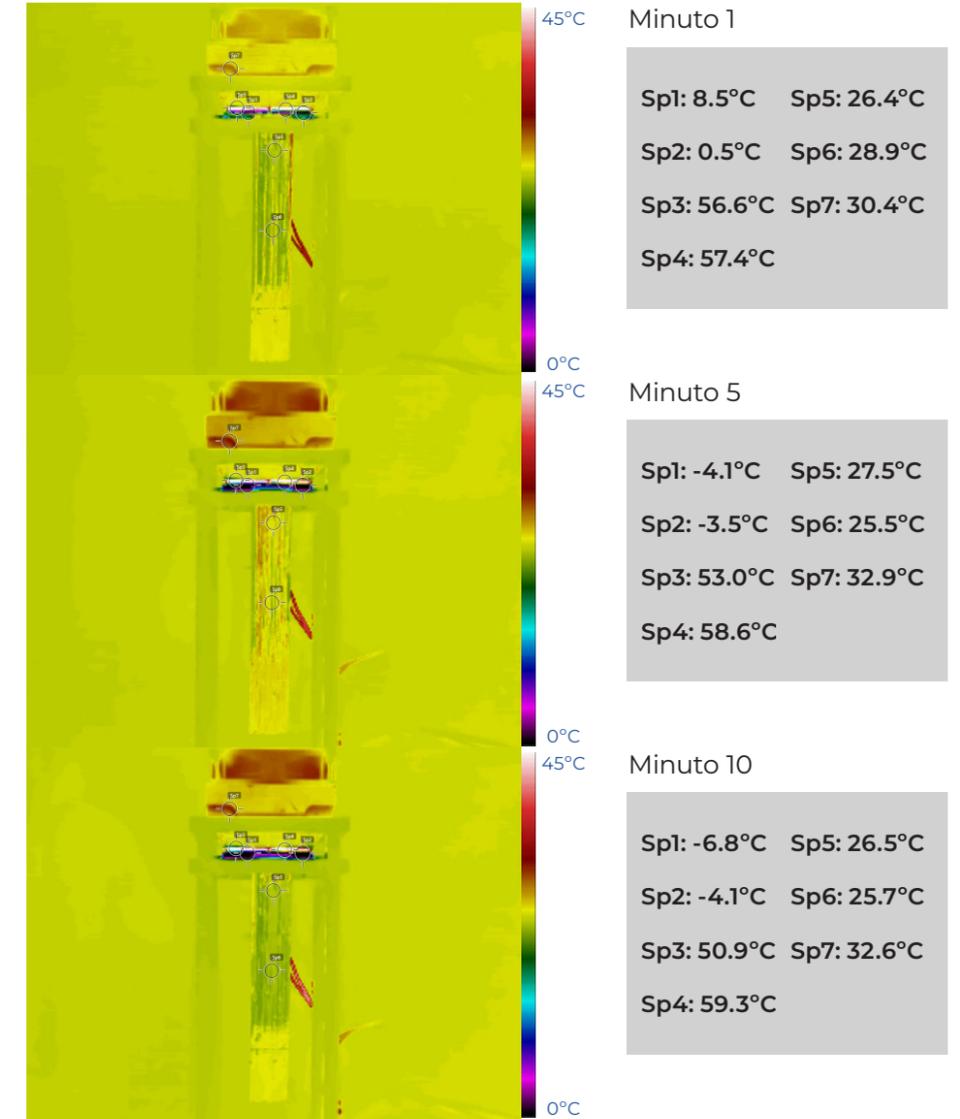


Esquema de funcionamiento



Nota: Se adjuntan en el capítulo de Anexos, parte C, algunas imágenes más de los resultados obtenidos.

Resultados



Conclusiones

10

La utilización de los recursos naturales ofrecidos por el planeta, así como su reaprovechamiento o un consumo más consciente de ellos, ha sido un tema de gran importancia durante los últimos años. Este tema se ha tratado desde diferentes ámbitos como son la utilización de energías limpias, la gestión de los residuos generados, el uso de materiales y sistemas que respeten el medio ambiente, etc. Todos ellos buscan una solución que permita mejorar la situación actual que sufre el planeta y que se ha explicado en los puntos anteriores.

Al concretar el tema de la investigación en torno a los recursos hídricos, más específicamente en aquellos que se encuentran en la atmósfera; se ha demostrado que aun existen soluciones innovadoras, basadas en los propios fenómenos naturales, que pueden ser investigadas y utilizadas con el fin de mejorar el aprovechamiento de estos recursos, lo cual constituye parte del objetivo principal del trabajo: evaluar capacidades de aprovechamiento de recursos hídricos y proponer un modelo funcional que permita la extracción de agua dulce del ambiente.

Con las bases de la investigación fijadas, que a priori llegaron a ocasionar dudas respecto a su viabilidad; se comprobó que el tema poseía diferentes ramas, con procesos y sistemas ya en fase de desarrollo que permiten cumplir el objetivo de recuperación del agua presente en el aire.

El estudio de estos modelos ha permitido definir los diferentes métodos que produce la condensación, es decir, de enfriamiento del entorno inmediato al modelo. Averiguando así, que este proceso se puede conseguir con técnicas muy diversas, que a su vez tienen sus propias ventajas e inconvenientes, pero siempre quedan delimitadas por las características ambientales en las que se encuentra el propio modelo. Estas condiciones climáticas son decisivas a la hora de escoger la tipología de sistema que se puede implementar y deben ser tenidas

en cuenta desde el primer momento para tratar de conseguir la mayor eficiencia posible.

Con esta información, tanto de los sistemas ya desarrollados como de los procesos que los constituyen, se ha llegado a una clasificación coherente según la tipología específica de cada propuesta. Aunque en algunos casos se ha interpretado que los sistemas se pueden enmarcar en distintas tipologías para conseguir una mayor eficiencia a la hora de obtener agua. Es a raíz de esto que se plantean como pasos siguientes a la investigación, la posibilidad de desarrollar en paralelo varios métodos de recuperación de agua del aire dentro de un mismo modelo, ya sea vapor de agua o agua que se encuentra en estado líquido.

Todo lo anterior permite asegurar que gran parte de los objetivos específicos planteados para el trabajo han sido cumplidos con éxito y se han obtenido resultados más ambiciosos de lo esperado. Incluso mostrando la posibilidad de continuar la investigación y plantear nuevas hipótesis para el desarrollo del tema en sucesivos procesos innovadores.

Sin embargo, la extracción de agua del ambiente es un proceso que requiere gran cantidad de energía para producirse. Por lo que es imprescindible que la continuación del tema vaya ligada a un sistema energético sostenible y limpio. Esta condición es la que delimita en mayor medida la implantación inmediata en la arquitectura; aunque se han estudiado ejemplos en los que ya se está desarrollando, en gran parte se trata de arquitecturas temporales o con carácter expositivo. Además, para poder implementarlo también hay que considerar las superficies sobre las que se produciría la condensación, diseñándolas de tal forma que sean parte de la arquitectura y se dispongan buscando la mayor eficiencia del sistema.

Queda demostrado que no es algo imposible, pero requiere un proceso desarrollado desde la parte más teórica, pasando por modelos que puedan ser reproducidos a escala de prototipo y finalizando en su implementación arquitectónica.

Esto último permitió construir la secuencia para satisfacer el objetivo principal de la investigación, la elaboración de un prototipo que fuera capaz de recoger la condensación del vapor de agua presente en el aire, estudiando de forma práctica los resultados y dificultades que se planteaban. El proceso, que podría ser definido como prueba-error, ha concluido en un prototipo final funcional, pero, sin embargo, que presenta resultados que no son los esperados.

Los principales inconvenientes que deberían abordarse en los pasos sucesivos de la investigación son: la demanda energética que requiere el sistema, pues para producir un par de gotas de agua es necesario el funcionamiento de las células Peltier y el ventilador durante dos horas y media. Un sistema que disipe el calor de forma más eficiente, la producción de calor por parte de las células es muy elevada, como se ha

observado durante los diferentes ensayos, y es necesario expulsarlo del sistema. Para ello el modelo desarrollado utiliza un disipador de calor y un ventilador, pero se podrían buscar soluciones más óptimas; pues a partir de los modelos estudiados se sabe que existe la posibilidad de eliminar este ventilador, reduciendo así la demanda energética, y diseñar el sistema de forma que la extracción del calor producido se base en un flujo natural de aire.

Otro de los problemas encontrados y que es fundamental para el futuro desarrollo del prototipo, es la mejora de la superficie de condensación. Como se ha explicado en apartados anteriores, lo ideal para el modelo propuesto sería un volumen esférico, o en todo caso con forma de cono. Esto requeriría un trabajo más industrial, con el que además se conseguiría una mejora en el acabado de la superficie, evitando cualquier tipo de imperfección.

Se han conseguido aportar y verificar datos en cuanto al tema en cuestión, permitiendo plasmar las posibilidades que este ofrece y que pueden contribuir a una mejora sustancial en la relación entre personas, arquitectura y recursos naturales. Un tema que en primer momento podía llegar a parecer imposible o plantear grandes dificultades, ha resultado basarse en teorías sencillas que están totalmente ligadas a lo que la naturaleza realiza en sus propios ciclos, radicando la complejidad del problema en la unión de estos procesos para que los resultados sean beneficiosos para el planeta.

Por todo esto, considero que el tema tiene grandes posibilidades en un futuro cercano, que la naturaleza nos está ofreciendo soluciones que pueden ser de gran utilidad con su correspondiente investigación y experimentación. Pero teniendo siempre la referencia en ella.

Toda la evolución de la humanidad ha demostrado que no podemos luchar en contra de nuestro planeta, porque está claro que los daños que le causamos nos repercuten directamente. Por lo que sí, es el momento de volver la mirada hacia las posibilidades que nos está ofreciendo y utilizar las tecnologías y las ideas, por muy contradictorias que parezcan, para aportar soluciones que mejoran la situación que nos vamos a encontrar en nuestro futuro.

En términos generales, el trabajo ha resultado muy fructífero. Además de todos los temas expuestos anteriormente, me ha permitido desarrollar un tema relativamente nuevo basándome en el método científico, con lo que he podido aprender sobre el campo de la investigación y cómo se desarrolla este en el ámbito de la arquitectura. Ha sido un proceso muy completo tanto a nivel teórico como práctico, consolidando temas estudiados con anterioridad, estudiando otros totalmente nuevos y aprendiendo a llevarlos a la práctica con la realización del prototipo, lo que me ha permitido plantear hipótesis y nuevas posibilidades que tenían que ser verificadas a través de las pruebas realizadas y los resultados que estas ofrecían.

Bibliografía

11

GIGLIO, M., HAND, C., BEECHINOR, W. y ZHANG, K. Active Fog Catcher. 2015.

GONZÁLEZ COBO, X. Análisis de la calidad de agua obtenida a partir de un sistema de condensación de la humedad del aire. Trabajo de titulación para obtención de título. Universidad Agraria del Ecuador. 2020.

HAMED, A., ALY, A., y ZEIDAN, E. Application of Solar Energy for Recovery of Water from Atmospheric Air in Climatic Zones of Saudi Arabia. Natural Resources. 2, 8-17. 2011.

IMKE HÖHLER, B.A. DropNet. Fog Collection and Lightweight Construction. Muthesius Academy of Fine Arts and Design, Industrial Design, Kiel, Germany. 2010.

JARIMI, H., POWELL, R., y RIFFAT, S. Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting, The University of Nottingham. 2019.

JOSHI, V.P., JOSHI, V.S., KOTHARI, H.A., MAHAJAN, M.D., CHAUDHARI, M.B. y SANT, K.D. Experimental investigations on a portable fresh water generator using a thermoelectric cooler. Energy Procedia. 109. 161-166. 2017.

KAJA, R. Harvesting Condensed Water in Dry Areas. Thesis Tampere University of Applied Sciences. 2012.

LOPEZ CAMPOS, S. Sistema de climatización basado en células Peltier. Universidad Carlos III de Madrid. Departamento de Tecnología Electrónica. 2014.

MEISS, A. Apuntes Acondicionamiento e Instalaciones IV, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. 2022.

MORENO ORTIZ, D.G. y GARCÍA ROMERO, D.J. Prototipo generador de agua con celdas Peltier. Trabajo de Grado. Universidad distrital Francisco José de Caldas. 2017

ORTEGA PIAS, S. Características y diseño técnico del primer parque hidroeléctrico piloto de España, en la Sierra de en Medio (Tarifa) con intención de abastecer de agua a partir de la condensación del aire a asentamientos aislados. Proyecto Fin de Carrera. Escuela Politécnica superior de Sevilla. 2013.

PADILLA MARCOS, M.A. Apuntes Acondicionamiento e Instalaciones V. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. 2022.

PARRA VILLAESCUSA, M. Medio ambiente, recursos naturales y paisaje agrario en los espacios medievales (siglos VIII-XV). Introducción. Anales de la Universidad de Alicante. Historia Medieval, 22, 9-25. 2021.

POURTAU ROMAIN, P.J. Nuevo concepto en Cartagena. Universidad de Belgrano. Departamento de Investigaciones. 2015. http://repositorio.ub.edu.ar/bitstream/handle/123456789/8251/895_Pourtau-ilovepdf-compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y

UNIVERSIDAD DE MURCIA. Tema 5. Mecanismos de Condensación. <https://www.um.es/geograf/clima/tema05.pdf>

VERA ZARAGOZA, V. Tecnologías de oferta para incrementar la disponibilidad de agua en la región de Murcia: estudio de viabilidad de captadores de nieblas. Trabajo Fin de Grado. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial. 2018.

VILLAVICENCIO PÉREZ, G. Desarrollo de un dispositivo electrónico para la captación de agua en el medio ambiente. Tesis para obtener el grado de maestro. Universidad Autónoma del Estado de México. 2015.

WILLIAM, G.E., MOHAMED, M.H. y FATOUH, M. Desiccant system for water production from humid air using solar energy. Energy. 90, 1707-1720. 2015.

WARKA WATER. Warka Tower. Presentation. 2021. Visitado última vez 12 de septiembre de 2022. https://www.dropbox.com/s/ua93bz9ukddx0se/WW_PR_WTower_220117_WP_11.pdf?dl=0

ZHOU, X., LU, H., ZHAO, F. y YU, G. Atmospheric Water Harvesting: A Review of Material and Structural Designs. ACS Materials Lett, 2, 671-684. 2020.

ARTÍCULOS DE PRENSA

ANDRÉS, R. Cómo se están vaciando las reservas de agua dulce del mundo. Izquierda Diario. 22 de marzo de 2021. [artículo de prensa] <https://www.izquierdadiario.es/Como-se-estan-vaciando-las-reservas-de-agua-dulce-del-mundo>

SMEDLEY, T. ¿Se está acabando el agua dulce en el mundo?, BBC news. 7 de julio de 2017. [artículo de prensa] <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-39699793>

SMEDLEY, T. Las fascinantes tecnologías que logran obtener agua potable del aire, BBC news. 25 de octubre de 2018. [artículo de prensa] <https://www.bbc.com/mundo/vert-fut-45658999>

VILLENA, J.J. Reducción “muy preocupante” de las reservas de agua mundiales. Meteored. 8 de enero de 2019. [artículo de prensa] <https://www.tiempo.com/noticias/actualidad/reduccion-extremadamente-preocupante-de-las-reservas-de-agua-mundiales.html>

PÁGINAS WEB

Greenpeace. <https://es.greenpeace.org/es/>

Greenpeace. Sequía. Visitado última vez 20 de agosto de 2022. <https://es.greenpeace.org/es/trabajamos-en/agua/sequia/>

Organización de las Naciones Unidas. Desafíos Globales. Agua (s.f.). Visitado última vez 20 de agosto de 2022. <https://www.un.org/es/global-issues/water>

Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/>

Organización de las Naciones Unidas. Objetivos de desarrollo sostenible. (s.f.). Visitado última vez 20 de agosto de 2022. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es>

Organización Mundial de la Salud. Agua para consumo humano. 21 de marzo de 2022. Visitado última vez 20 de agosto de 2022. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

SARACHU, E. Bomba de calor. ¿Qué es y cómo funcionan las bombas de calor? E-FICIENCIA. [artículo web]. Visitado última vez 26 de agosto de 2022. <https://e-ficiencia.com/como-funciona-la-bomba-de-calor-infografia/#:~:text=los%20recursos%20naturales,-%C2%BFC%C3%B3mo%20funciona%20la%20bomba%20de%20calor%3F,interior%20de%20los%20recintos%2C%20calent%C3%A1ndolos>

SUNGLACIER. Visitado última vez 13 de septiembre de 2022. <https://sunglacier.nl/>

WARKA WATER. Warka Tower. Presentation. 2021. Visitado última vez 12 de septiembre de 2022. https://www.dropbox.com/s/ua93bz9ukddx0se/WW_PR_WTower_220117_WP_11.pdf?dl=0

<https://dutchdubai.com/>

<https://dutchdubai.com/the-netherlands-looks-back-on-a-successful-expo-in-dubai/>

<https://www.expo2020dubai.com/es/understanding-expo/participants/country-pavilions/netherlands.html>

https://www.wipo.int/ipadvantage/es/articles/article_0157.html

https://www.ecoavant.com/sostenibilidad/beber-del-aire_1610_102.html

<https://www.energythic.com/view.php?node=229>

<http://www.rexresearch.com/ellsworth/ellsworth.htm>

<https://1library.co/article/tecnolog%C3%ADa-airdrop-mecha-nylon-asegurar-producci%C3%B3n-alg%C3%BAn-gesti%C3%B3n.qog25e5z>

<https://conmuchaperspectiva.wordpress.com/2011/11/24/un-sistema-de-riego-autosuficiente-para-afrontar-grandes-sequias-merecedor-del-premio-james-dyson/>

<https://www.experimenta.es/noticias/industrial/airdrop-de-edward-linacre-premio-james-dyson-award-3230/>

<https://www.theengineer.co.uk/content/news/artificial-leaf-could-grow-a-layer-of-ice-in-desert-conditions>

<https://edition.cnn.com/2012/04/29/world/eole-water-turbine/index.html>

<https://futuristspeaker.com/business-trends/tapping-into-the-waterways-in-the-sky/>

<https://www.designboom.com/design/imke-hoehler-dropnet/>

<https://theindexproject.org/post/finalist2011-29>

<https://ecoinventos.com/watair-agua-gracias-al-aire/>

<https://edition.cnn.com/2016/11/18/africa/fog-catchers-morocco/index.html#:~:text=In%20a%20mountainous%20area%20on,it%20into%20clean%20drinking%20water.&text=The%20fog%2Dcatching%20project%20provides,%2D%2D%20known%20as%20Anti%20Atlas.>

FIGURAS

Figura 1. Pinturas rupestres Cueva de Altamira (España).

<https://www.culturaydeporte.gob.es/mnaltamira/dam/jcr:529a977e-5f32-47f7-bb35-5735d6e36908/altamira-estadoactualdelregistroarqueologico-doc-investigacion.pdf>

Figura 2. Dolmen de Menga (España).

<https://www.museosdeandalucia.es/web/conjuntuarqueologicodolmenesdeantequera/-/dolmen-de-menga-cueva-de-menga>

Figura 3. Portada tratado “De architectura” (Vitruvio)

https://www.researchgate.net/figure/Cover-of-the-architectural-treatise-by-Marco-Vitruvio-Polion-Tapa-del-tratado-de_fig1_315250893

Figura 4. Yurta.

<https://www.advantour.com/es/kirguistan/cultura/yurtas.htm>

Figura 5. Jeroglífico egipcio.

<https://astelus.com/aportes-antigua-civilizacion-egipcia/>

Figura 6. “Impluvium” en villa de Pompeya (Italia).

Elaboración de la autora.

Figura 7. Cloaca Máxima Roma (Italia).

<https://www.romanoimperio.com/2010/05/cloaca-maxima.html>

Figura 8. Hacinamientos ocurridos en la Edad Media.

<https://okdiario.com/curiosidades/curiosas-costumbres-edad-media-1241771>

Figura 9. Contaminación del agua en la Edad Media. Detalle de “Nederlandse Spreekwoorden” del pintor Peter Brueghel. 1559.

https://www.elconfidencial.com/alma-corazon-vida/2022-02-17/historia-del-retrete-siglos_3375679/

Figura 10. Máquina de vapor.

<https://www.fundacionaquae.org/wiki/quien-invento-la-maquina-de-vapor/>

Figura 11. Deforestación en Papua (Indonesia). Comparativa entre el año 2019 (arriba) y el 2022 (abajo).

<https://climate.nasa.gov/images-of-change?id=757#757-deforestation-in-papua-indonesia>

Figura 12. Relación entre recursos naturales y arquitectura durante la historia

Elaboración de la autora.

Figura 13. Logotipo Objetivos de Desarrollo Sostenible.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>

Figura 14. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Figura 15. Objetivo 3.

Figura 16. Objetivo 6.

Figura 17. Objetivo 7.

Figura 18. Objetivo 11.

Figura 19. Objetivo 12.

Figura 20. Objetivo 13.

Figura 21. Objetivo 14.

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/#>

Figura 22. ODS.

<https://www.corresponsables.com/acualidad/ods17-un-53-de-los-espanoles-afirma-no-saber-que-son-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible>

Figura 23. Esquema de relación entre los campos.

Elaboración de la autora.

Figura 24. Folleto informativo n°35 de las Naciones Unidas. El derecho al agua.

<https://www.ohchr.org/sites/default/files/2021-09/FactSheet35en.pdf>

Figura 25. Comparativa de la capa de nieve de la Sierra Nevada de California (EE. UU.). Año 2010 (izquierda). Año 2015 (derecha).

<https://www.ngenespanol.com/naturaleza/cambio-climatico-en-images-antes-despues-planeta-tierra-cambios-sequia/>

Figura 26. Niveles de estrés hídrico, subregiones con estrés hídrico alto y muy alto, 2017 (porcentaje).

https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf#page=13

Figura 27. Relación de aguas residuales tratadas.

<https://www.grida.no/resources/7210>

Figura 28. Proporción de la población con acceso a servicios básicos y de gestión segura de agua, saneamiento e higiene (2000-2017) y crecimiento necesario (2017-2030) para alcanzar las metas (porcentaje).

https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf#page=13

Figura 29. Estragos e islas artificiales en el litoral de los Emiratos Árabes. Año 2011 (izquierda). Año 2012 (derecha).

<https://theobjective.com/further/medioambiente/2017-08-17/7-imagenes-de-la-nasa-que-muestran-que-el-cambio-climatico-es-real/>

Figura 30. Informe del Objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020.

https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2020_Spanish.pdf

Figura 31. Composición del aire de la atmósfera.

https://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html

Figura 32. Estados del agua.

<https://www.caracteristicas.co/estados-solido-liquido-gaseoso/>

Figura 33. Ábaco psicométrico. Con modificaciones hechas por la autora.

https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-d_816.html

Figura 34. Partes dispositivo termoeléctrico. Célula Peltier.

<https://nergiza.com/como-hacer-un-aire-acondicionado-casero-con-una-celula-de-peltier/>

Figura 35. Célula Peltier.

<https://uelectronics.com/producto/celda-peltier/>

Figura 36. Esquema bomba de calor.

<https://www.areatecnologia.com/calefaccion/bomba-de-calor.html>

Figura 37. Proceso enfriamiento evaporativo.

<https://www.condair.mx/6-maneras-de-c%C3%B3mo-usar-enfriamiento-por-evaporaci%C3%B3n>

Figura 38. Proceso de obtención de agua por métodos de absorción – desorción.

Figura 39. Absorción y adsorción.

[Zhou, X., Lu, H., Zhao, F. y Yu, G. 2020]

Figura 40. Proceso de condensación a partir de la compresión del aire.

<https://www.ayrful.com.ar/servicios/medicion-punto-de-rocio/>

Figura 41. Diferentes tipos de nieblas y sus procesos de formación.

<https://www.robotitus.com/como-se-forma-la-niebla?amp=1>

Figura 42. Adhesión de gotas en la red y recogida en colector inferior.

Figura 43. Esquema del sistema de redes.

[Jarimi, H., Powell, R., y Riffat, S. 2019.]

Figura 44. Redes situadas en Marruecos.

<https://edition.cnn.com/2016/11/18/africa/fog-catchers-morocco/index.html#:~:text=In%20a%20mountainous%20area%20on,it%20into%20clean%20drinking%20water.&text=The%20fog%20catching%20project%20provides,%2D%2D%20known%20as%20Anti%20Atlas.>

Figura 45. Redes situadas en Perú.

https://elpais.com/elpais/2016/08/01/album/1470051569_700536.html#foto_gal_12

Figura 46. Croquis Warka Tower.

Figura 47. Warka Tower 3.

<https://warkawater.org/warkatower/>

Figura 48. Estructura, materiales y funcionamiento Warka Tower.

<https://www.tiempo.com/ram/231452/proyecto-warka-agua-del-aire/>

Figura 49. Recogida de agua en prototipo DropNet.

Figura 50. Detalle doble curvatura redes.

Figura 51. Propuesta de implantación de los prototipos.

<https://inhabitat.com/dropnet-fog-collector-harvests-the-mist-to-create-pure-drinking-water/detail/>

Figura 52. Propuesta de implantación.

Figura 53. Prototipo Watair.

<https://ecoinventos.com/watair-agua-gracias-al-aire/>

Figura 54. Propuesta de implantación urbana.

<https://inhabitat.com/watair-turning-air-into-water/watair3/>

Figura 55. Propuesta de hoja artificial.

Figura 56 y 57. Water Cube.

Figura 58 y 59. Modelo dc03.

Figura 60. Superficie reglada.

Figura 61. Sculpture TM01.

Figura 62. Depósito Sculpture TM01.

Figura 63. Pulverizador Sculpture TM01.

Figura 64. Sculpture TM01.

Figura 65. Cono central.

Figura 66. Funcionamiento pabellón.

Figura 67. Recopilación de imágenes del pabellón de Países Bajos en la Expo Dubái 2020.

Figura 68. Cascada de agua dentro del cono.

Figura 69. Cristales fotovoltaicos en techo del pabellón.

Figura 70. Cubierta del pabellón con la instalación del sistema Sunglacier.

Figura 71. Cristales fotovoltaicos

Figura 72. Blueprint pabellón de Países Bajos en la Expo Dubái 2020.

<https://sunglacier.nl/images>

Figura 73. Parte superior Airdrop.

Figura 74. Partes Airdrop.

<https://conmuchaperspectiva.wordpress.com/2011/11/24/un-sistema-de-riego-autosuficiente-para-afrentar-grandes-sequias-merecedor-del-premio-james-dyson/>

Figura 75. Airdrop.

Figura 76. Prototipo Airdop.

<https://www.experimenta.es/noticias/industrial/airdrop-de-edward-linacre-premio-james-dyson-award-3230/>

Figura 77. Logotipo EoleWater.

Figura 78. Fases modelos EoleWater.

Figura 79. Sistemas energéticos EoleWater.

Figura 80. Rotor

Figura 81. Góndola.

Figura 82. Partes del aerogenerador.

<https://www.energythic.com/view.php?node=229>

Figura 83. Esquema funcionamiento.

[Abualhamayel, H.I., Gandhidasan, P. 1997]

Figura 84. A2WH.

<http://www.rexresearch.com/ellsworth/ellsworth.htm>

Figura 85. Célula Peltier.

Figura 86. Disipador de calor.

Figura 87. Ventilador.

Figura 88. Placas de aluminio.

Figura 89. Pirámides de chapa de aluminio.

Figura 90. Bloque de aluminio "condensador".

Figura 91. (1) Láminas de aluminio.

Figura 92. (2) Placas cortadas de 20 cm.

Figura 93. (3) Triángulos de aluminio.

Figura 94 (4) Volumen de aluminio.

Elaboración de la autora.

Nota: A partir de esta figura, todas las demás que se añaden han sido realizadas por la autora.

Anexos

12

Se adjuntan a continuación todos los documentos e imágenes que complementan la investigación y que se han ido mencionando a lo largo de ella en sus correspondientes puntos.

A. FICHAS TÉCNICAS EOLEWATER

La empresa EoleWater, de la que se ha hablado en el punto 6.2.3, dispone de las diferentes fichas técnicas de sus modelos. Las cuales se incluyen a continuación y en las que se especifican las diferentes características técnicas, procesos de funcionamiento, componentes de cada uno y resultados referidos a la producción de agua en diferentes condiciones.





Your nearest drinking water source

The air is an inexhaustible source of water: the Nerios S3, 6th generation technology designed by Eole Water, will give you access to drinking water, whenever you are. Its new "no storage system" coupled to an auto-bleed and recharge system, its performance is optimal. Four levels of purification ensure you the delivery of high quality water without nitrates and heavy metals.

Live a unique experience by using easily a sophisticated technology

The Nerios S3's clear design makes sure that operation is easy. Only a few hours after installation, the production of drinking water will be possible. Eole Water's former expertise in the field of water management within remote areas ensures reduced maintenance and robust components, carefully arranged to offer you a dependable system.

Enter into a sustainable approach for your environment

The Nerios S3 is your reliable water source that reduces the impact of water production on the environment. Taking the humidity in the air, it produces water rather than fresh water sources are scarce. Its energy source, direct from the sun, ensures there are zero CO2 emissions impacting significantly less on the environment when compared to other fresh water production systems.





Working Process

- Ambient air
- Condensation
- Purification
- Water storage
- Drinking water

Product Specifications

WATER PRODUCTION SYSTEM

- Production capacity on Grid: 100l / 24 h (26 Gallons)
- Production capacity on Solar PV: 50l / 24 h (13 Gallons)
- Standard working conditions: 25° C / 60° F HR
- Water storage capacity: 200l (52 Gallons)
- Refrigerant gas: R407C

WATER PURIFICATION SYSTEM

- 1 - Filtration 10 µ
- 2 - Carbon block filtration 1 µ
- 3 - Ultra filtration 0.05 µ
- 4 - Ultraviolet treatment
- 5 - Mineralization cartridge

ELECTRICAL SYSTEM

- Cooling compressor: Variable speed reciprocating
- Cooling compressor power supply: 4500 Wp solar panels
- Cooling compressor power: 900 W / 30Hz - 2200 W / 70Hz
- Auxiliary power supply: 2 x 800 Wp solar panels
- Auxiliary inlet power: 1000 W
- Grid power supply: 1 phase - 230 VAC 50 Hz - 16 A

GENERAL

- Dimensions: 2000 x 1250 x 2200 mm
- Weight: 2500 kg

Ficha técnica Nerios.S3

Ficha técnica WMS-30kW (pagina siguiente arriba)

Ficha técnica WMS-30kW Grid Tie (pagina siguiente abajo)




WMS-30kW Solar Panel: Water device designed for sunny areas

Water device designed for sunny areas. It is a solar-powered water production system that captures humidity from the air and produces clean drinking water. It is ideal for remote areas with limited access to water and electricity.

General components

- 1 - Cooling compressor
- 2 - Water storage tank
- 3 - Water filter
- 4 - Water tap
- 5 - Water tap
- 6 - Water tap
- 7 - Water tap
- 8 - Water tap
- 9 - Water tap
- 10 - Water tap
- 11 - Water tap
- 12 - Water tap
- 13 - Water tap
- 14 - Water tap
- 15 - Water tap
- 16 - Water tap
- 17 - Water tap
- 18 - Water tap
- 19 - Water tap
- 20 - Water tap

Technical Specifications

Model	Capacity	Power
WMS-30kW	100l / 24h	4500Wp
WMS-30kW	50l / 24h	2250Wp
WMS-30kW	25l / 24h	1125Wp
WMS-30kW	12.5l / 24h	562.5Wp



WMS-30kW SOLAR PANEL
Water device designed for sunny areas




WMS-30kW Grid Tie, focused on the essential: water

Water device designed for sunny areas. It is a solar-powered water production system that captures humidity from the air and produces clean drinking water. It is ideal for remote areas with limited access to water and electricity.

General components

- 1 - Cooling compressor
- 2 - Water storage tank
- 3 - Water filter
- 4 - Water tap
- 5 - Water tap
- 6 - Water tap
- 7 - Water tap
- 8 - Water tap
- 9 - Water tap
- 10 - Water tap
- 11 - Water tap
- 12 - Water tap
- 13 - Water tap
- 14 - Water tap
- 15 - Water tap
- 16 - Water tap
- 17 - Water tap
- 18 - Water tap
- 19 - Water tap
- 20 - Water tap

Technical Specifications

Model	Capacity	Power
WMS-30kW	100l / 24h	4500Wp
WMS-30kW	50l / 24h	2250Wp
WMS-30kW	25l / 24h	1125Wp
WMS-30kW	12.5l / 24h	562.5Wp

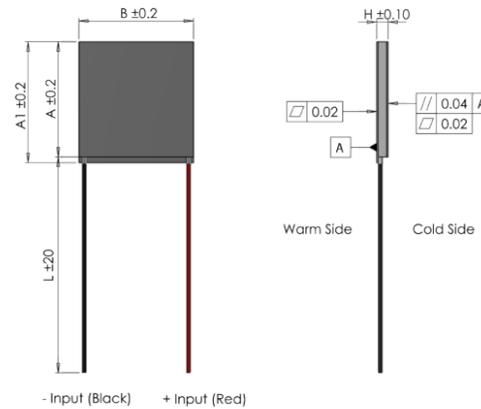


WMS-30kW GRID TIE
Focused on the essential: water

B. FICHA TÉCNICA CÉLULAS PELTIER

ET-127-10-13-HI Peltier Cooler Module

Data sheet



I_{max}	[A]	4.0
V_{max}	[Vdc]	16
$P_c \text{ max}$	[W]	35
ΔT_{max}	[°C]	72
A	[mm]	30
AI	[mm]	30
B	[mm]	30
H	[mm]	3.6
L	[mm]	100
Wire	AWG	n/a

- (At hot side temperature $T_h = 25^\circ\text{C} / 298\text{K}$, under dry N_2)
- $P_c \text{ max}$ = Cooling power at $\Delta T = 0$ and $I = I_{max}$
- ΔT_{max} = Temperature difference at $I = I_{max}$ and $P_c = 0$
- Max hot side temperature $T_h = 90^\circ\text{C}$ for best long term performance
- Max mounting pressure: 1.5MPa
- Wires: UL-style 1569, 105°C (Unstripped)

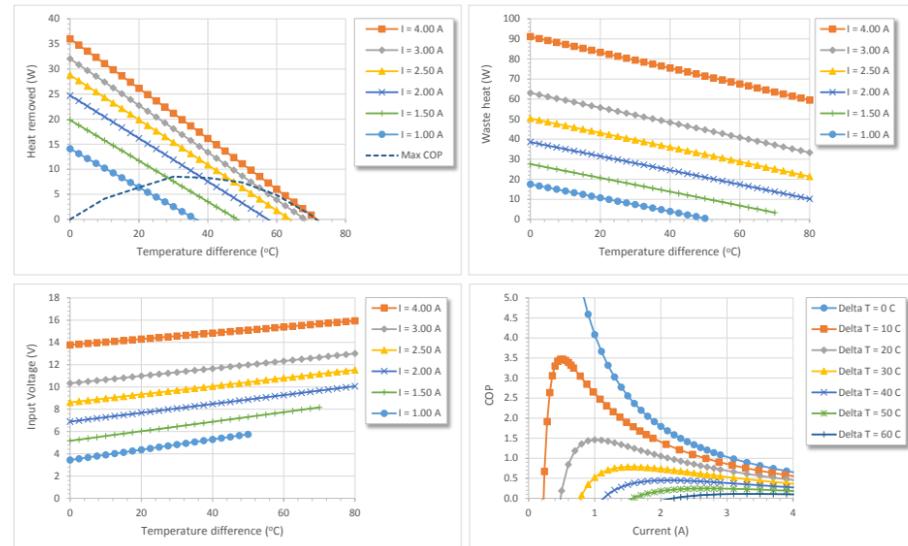


Adaptive is a registered trademark of European Thermodynamics Limited.
Web: www.etdyn.com Tel: +44(0)116 279 6899 E-mail: info@etdyn.com

Version | -2018
Page |

ET-127-10-13-HI Peltier Cooler Module

Data sheet - At hot side temperature 25°C



*Note - Waste heat = Heat out of hot side

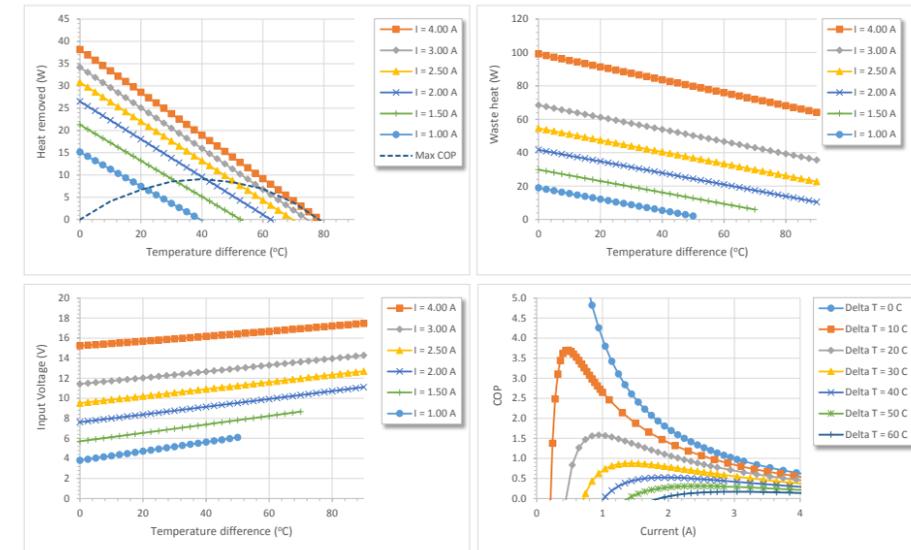


Adaptive is a registered trademark of European Thermodynamics Limited.
Web: www.etdyn.com Tel: +44(0)116 279 6899 E-mail: info@etdyn.com

Version | -2018
Page 2

ET-127-10-13-HI Peltier Cooler Module

Data sheet - At hot side temperature 50°C



*Note - Waste heat = Heat out of hot side

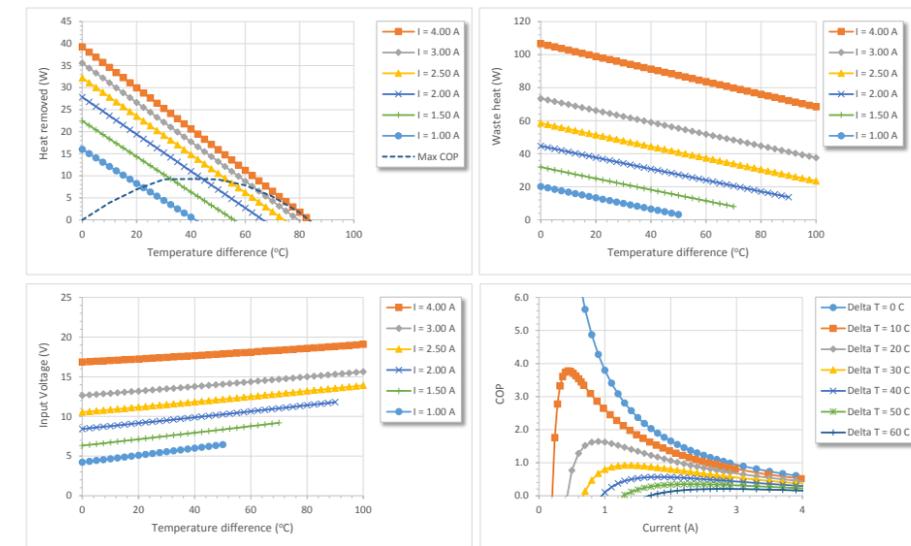


Adaptive is a registered trademark of European Thermodynamics Limited.
Web: www.etdyn.com Tel: +44(0)116 279 6899 E-mail: info@etdyn.com

Version | -2018
Page 3

ET-127-10-13-HI Peltier Cooler Module

Data sheet - At hot side temperature 75°C



*Note - Waste heat = Heat out of hot side



Adaptive is a registered trademark of European Thermodynamics Limited.
Web: www.etdyn.com Tel: +44(0)116 279 6899 E-mail: info@etdyn.com

Version | -2018
Page 4

C. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

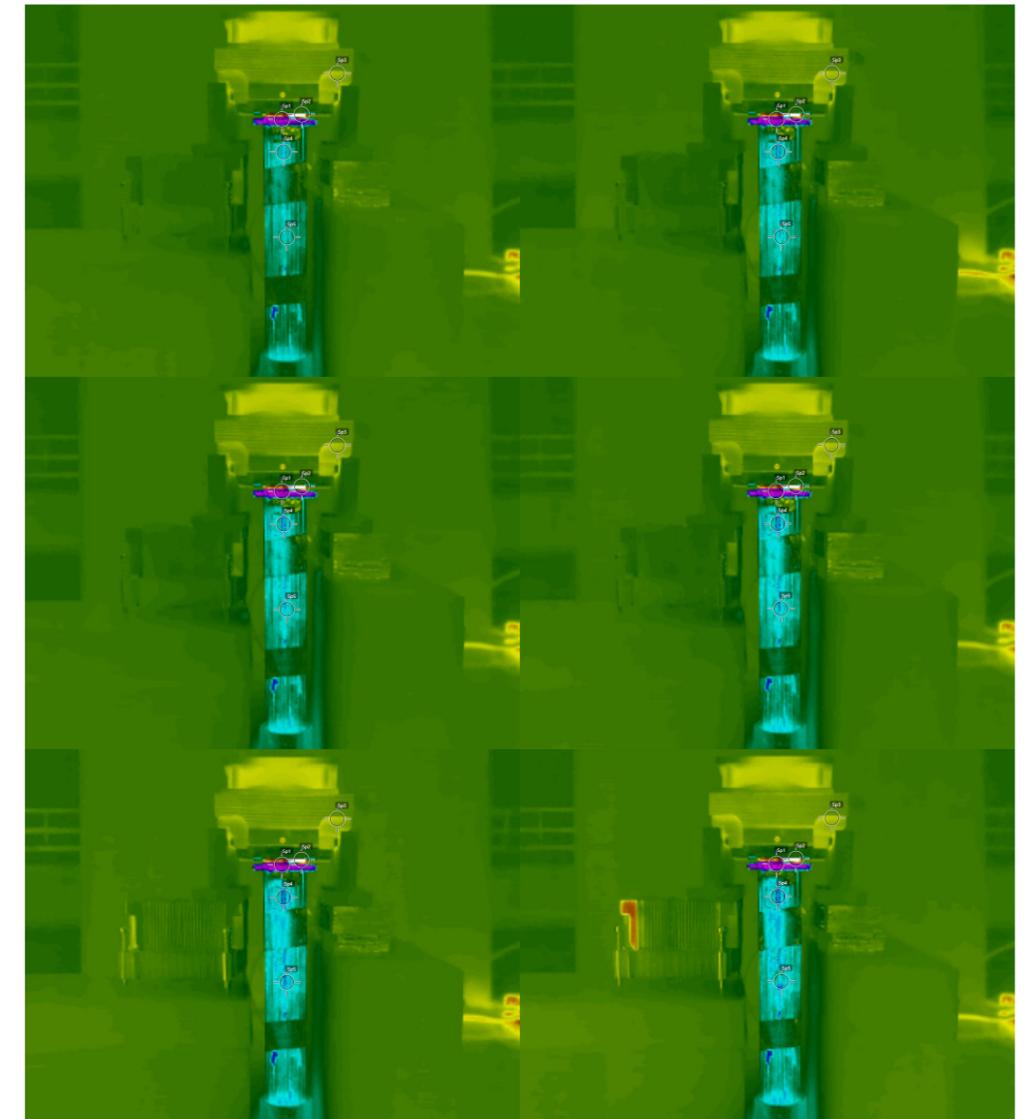
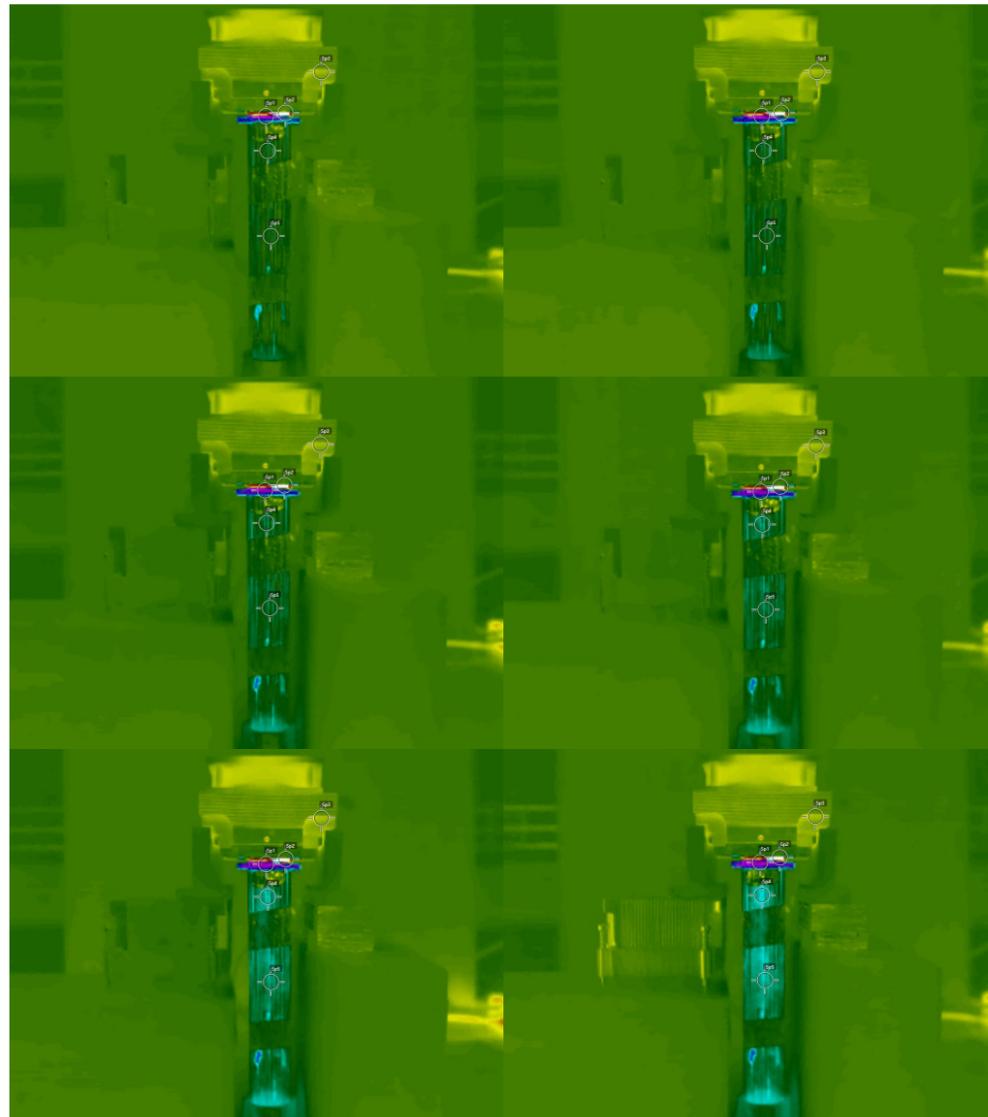
Imágenes

termográficas

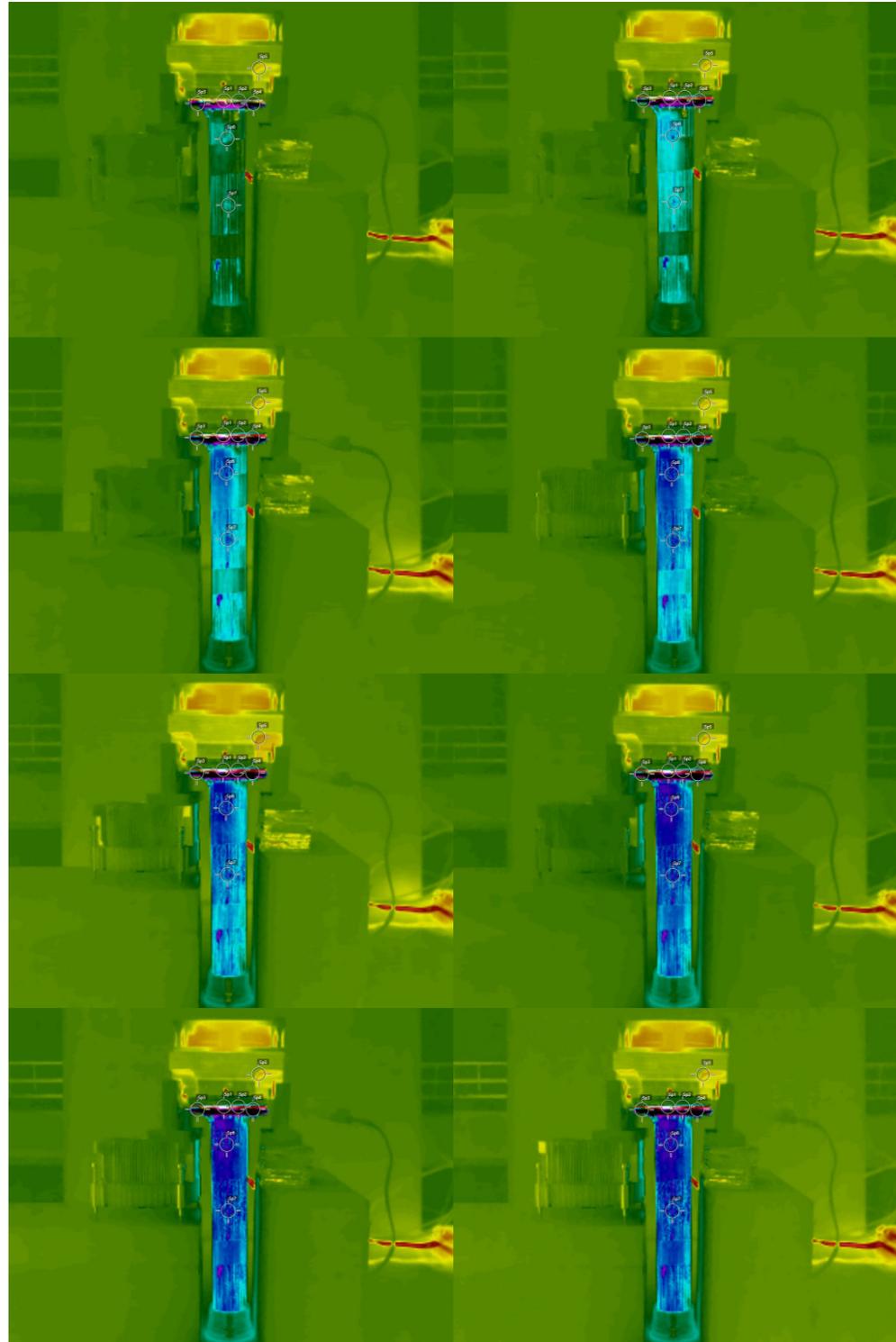
Resultados obtenidos en aquellas pruebas cuya duración fue mayor a los 10 minutos que se establecieron como tiempo de estas, debido a que los resultados dados en este tiempo no aportaban una visión precisa del funcionamiento del sistema.

Se realizaron las imágenes cada 5 minutos.

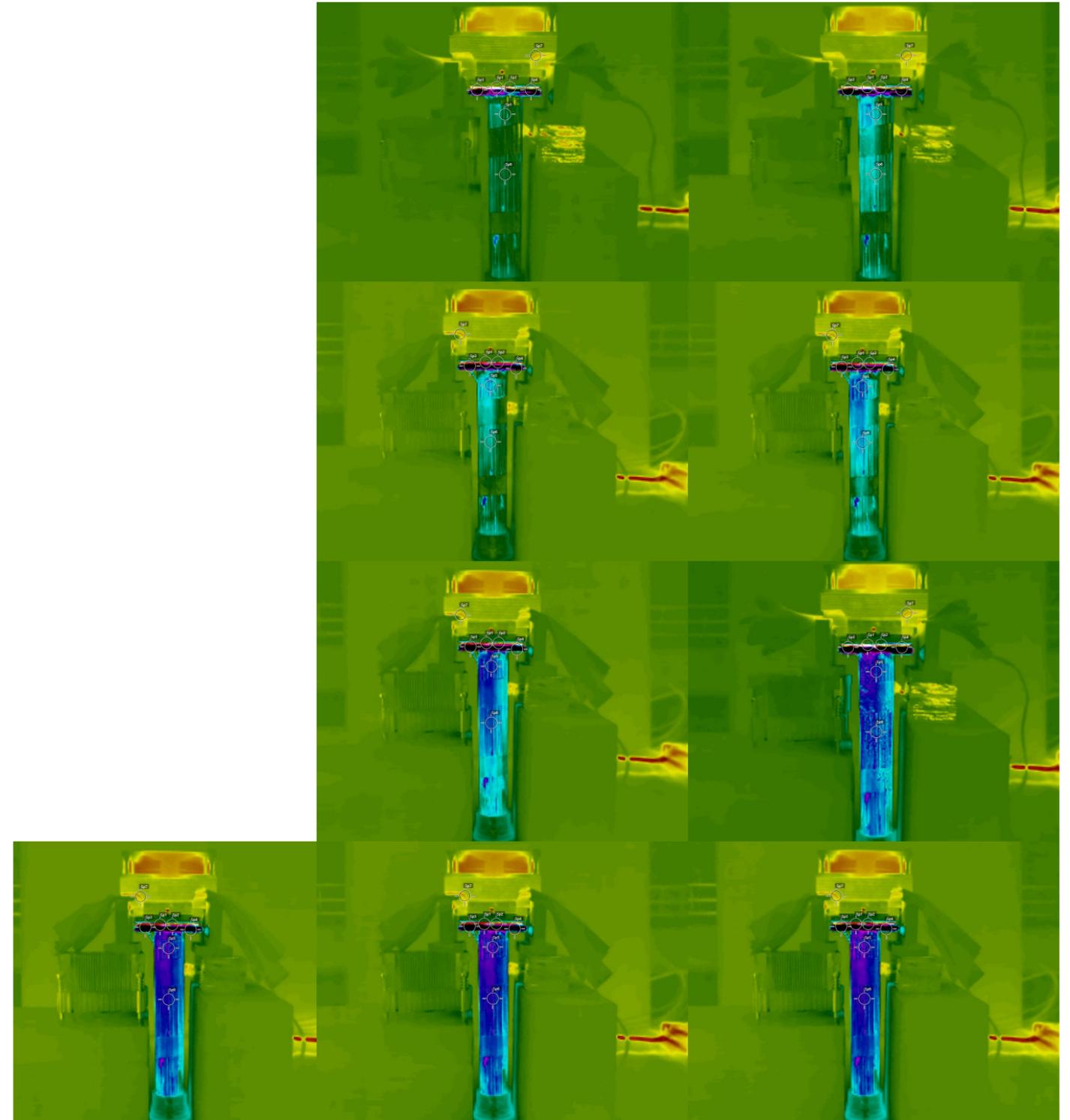
PRUEBA 20

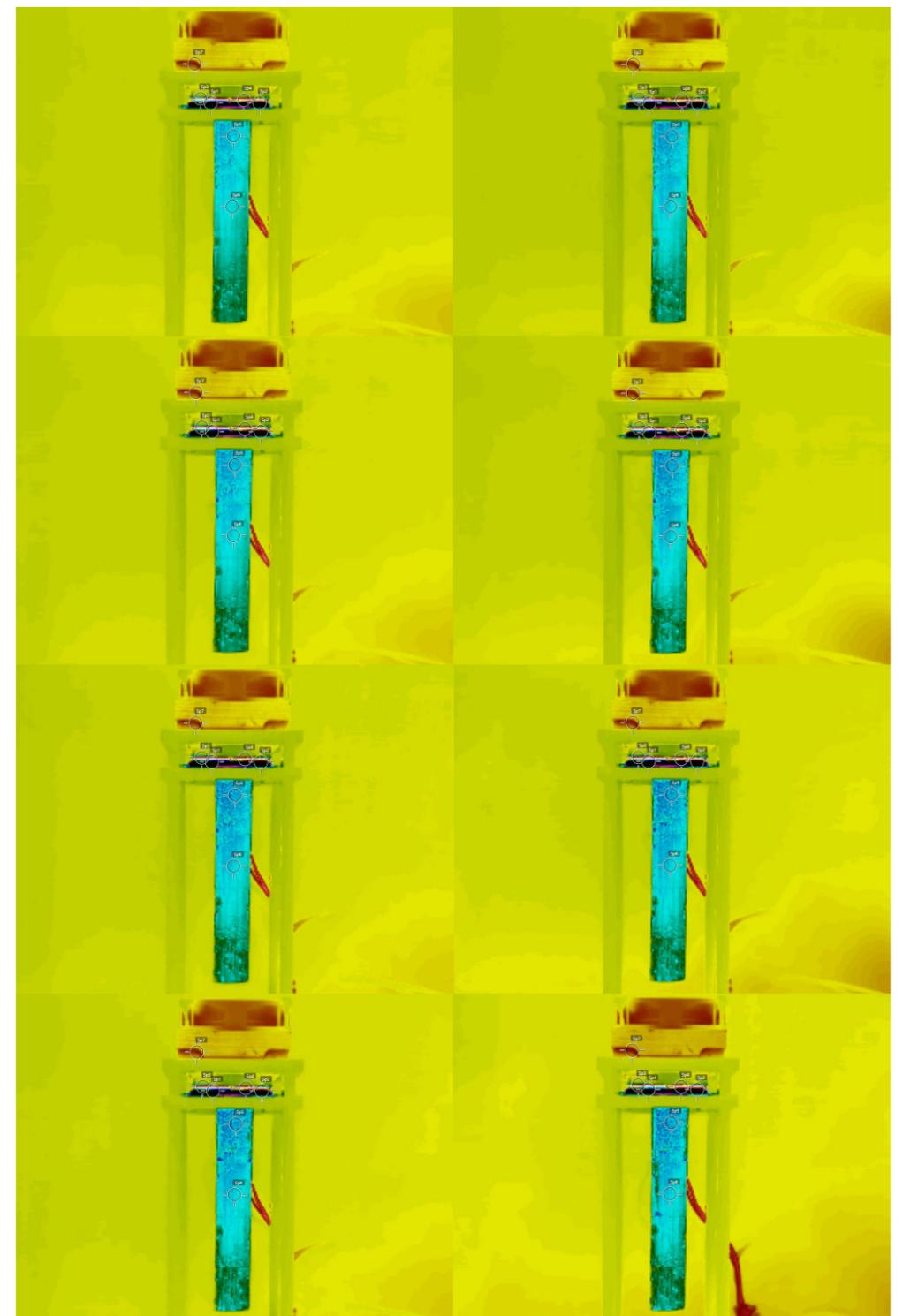
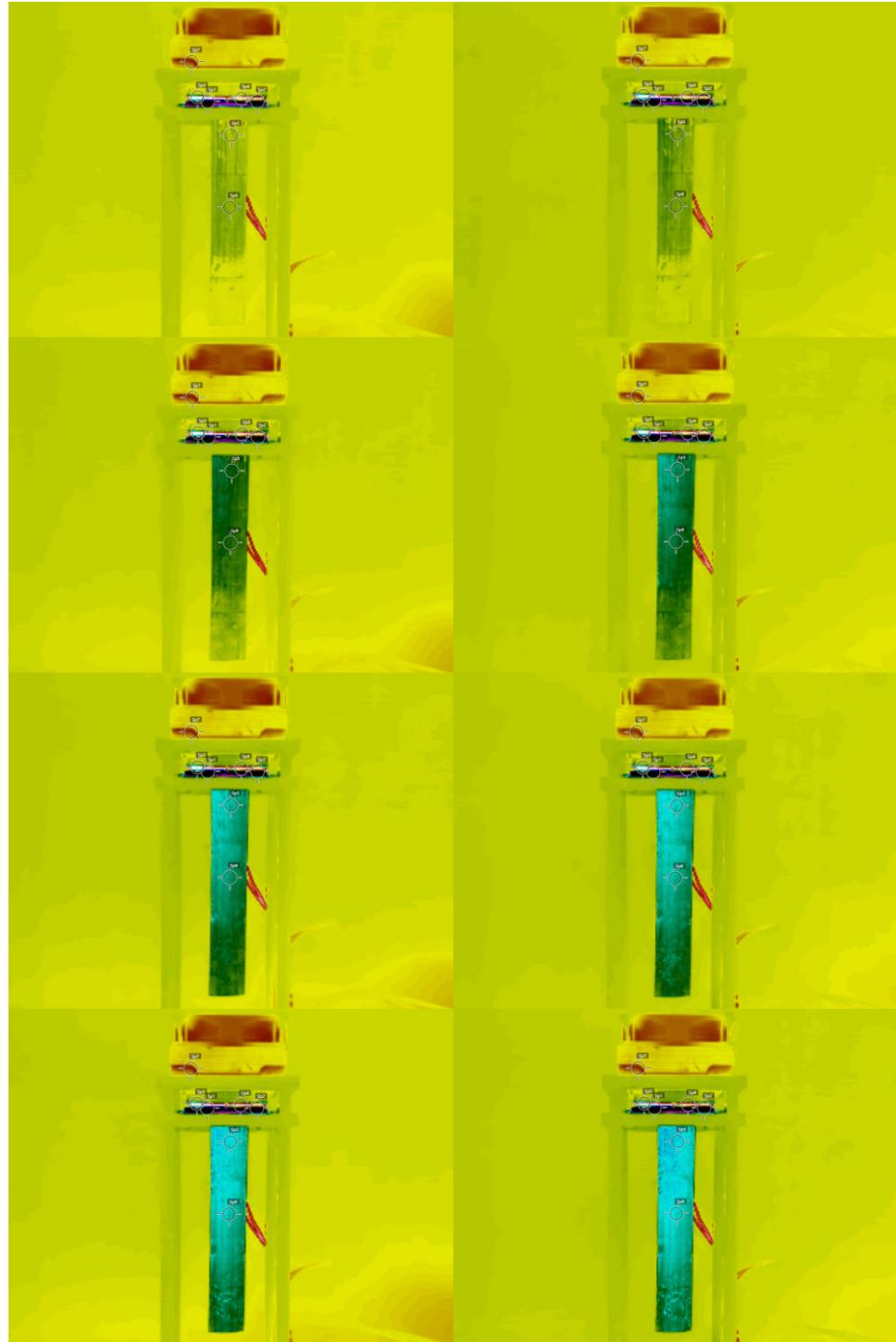


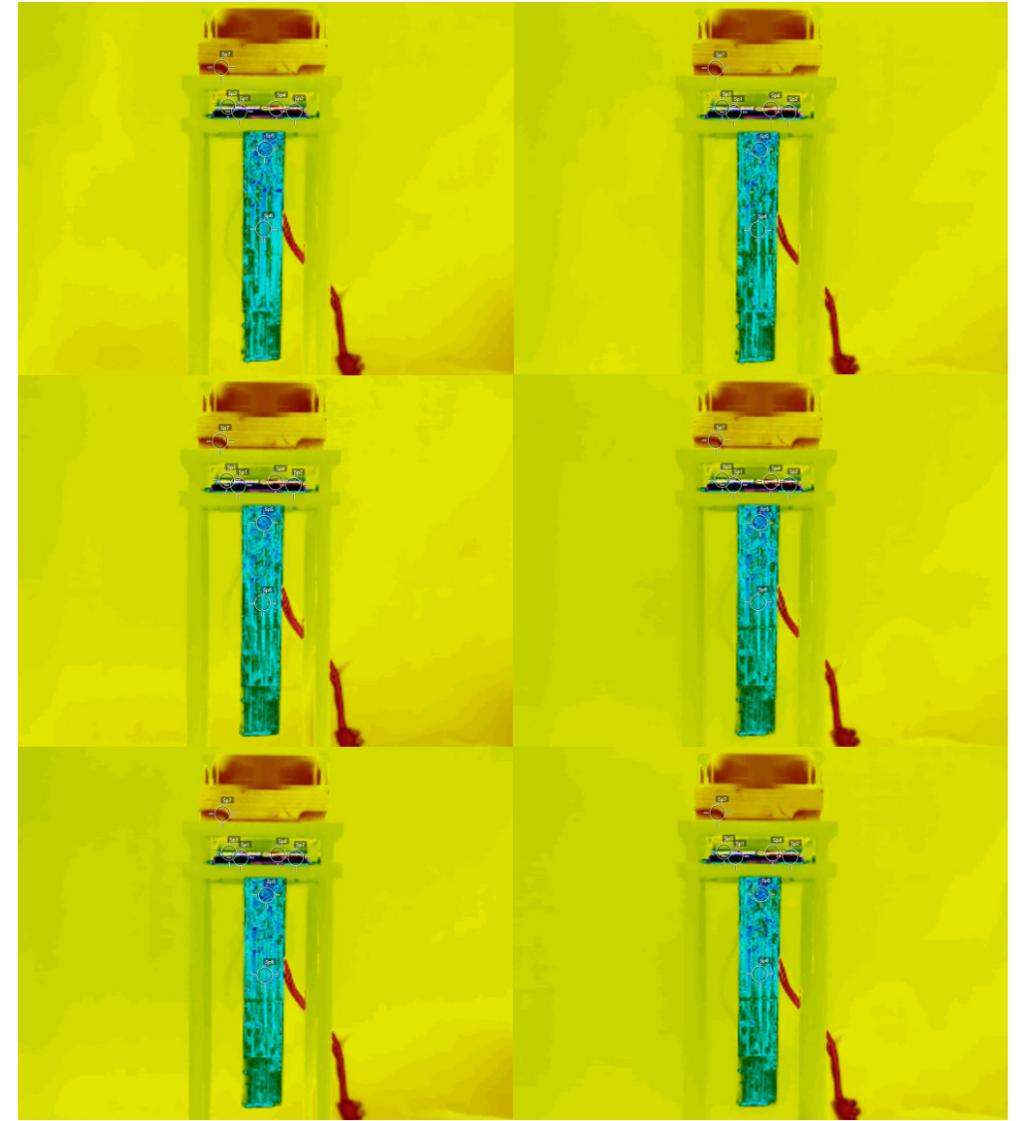
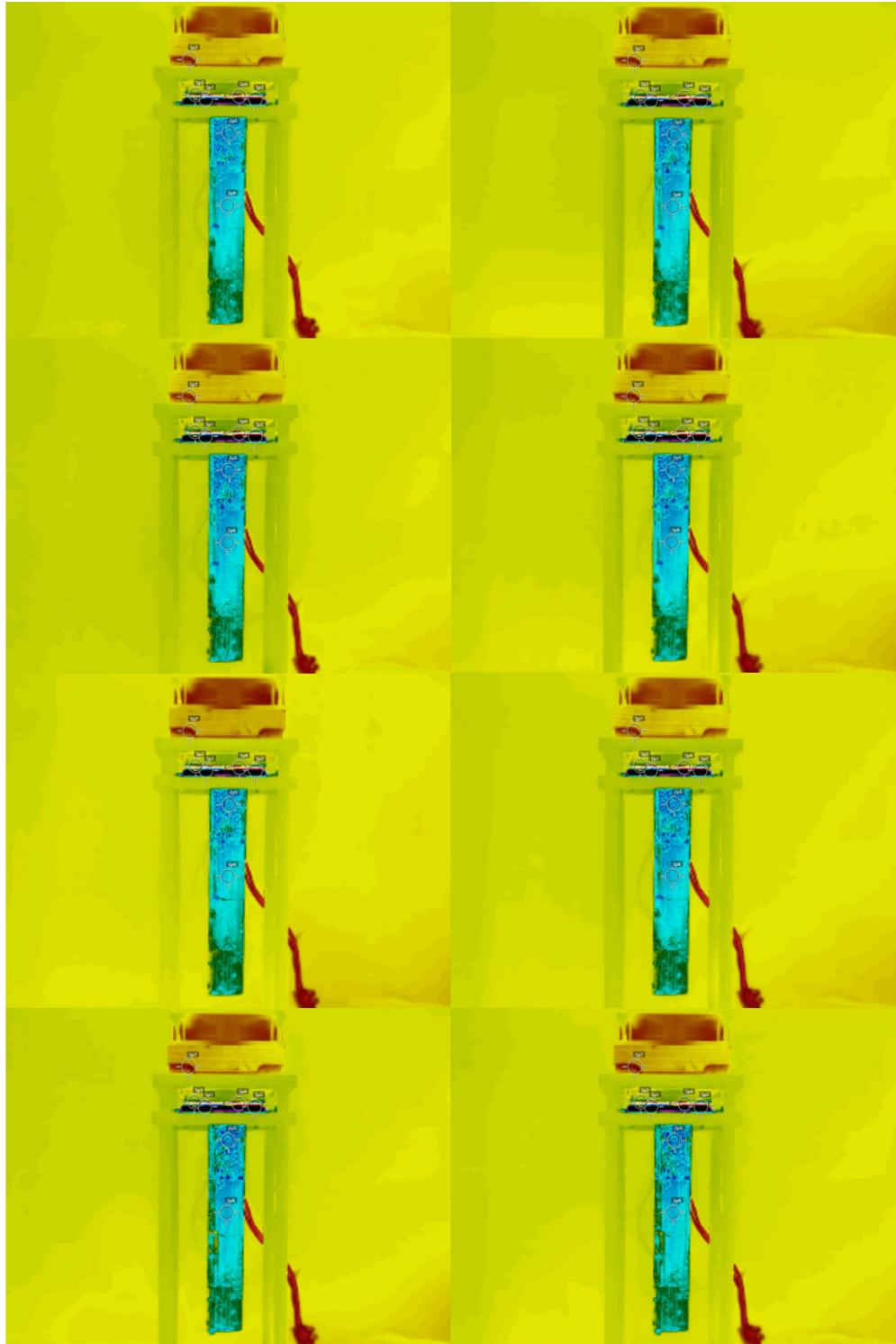
PRUEBA 21



PRUEBA 22



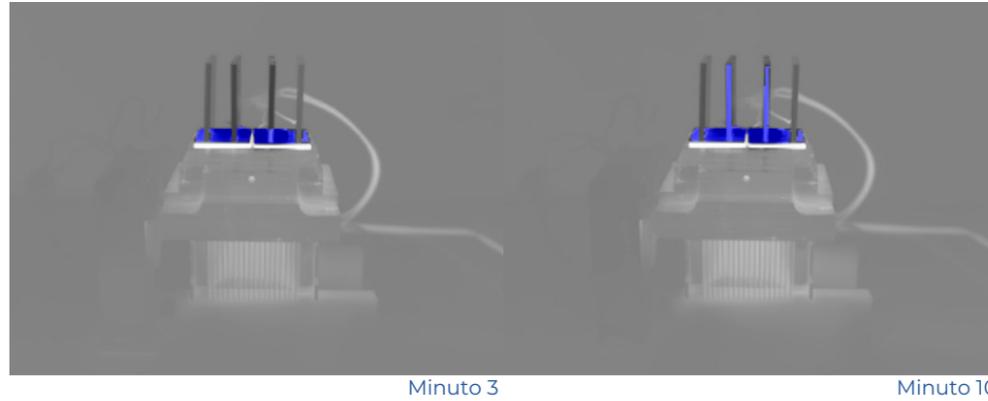




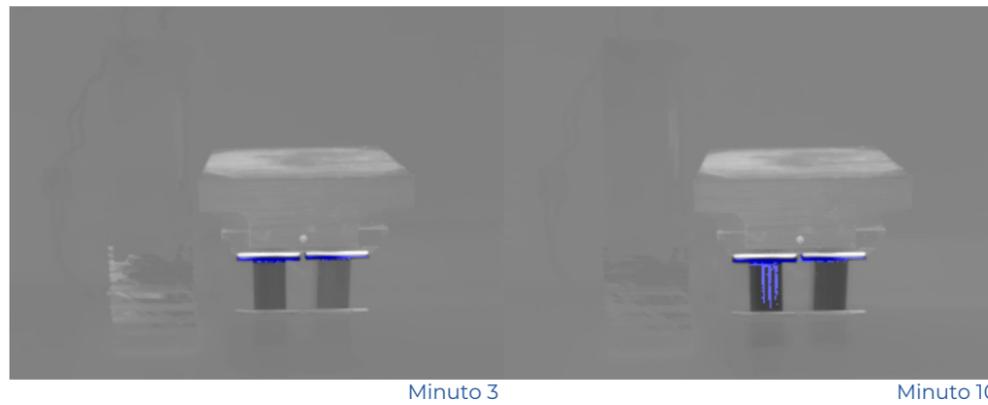
Imágenes humedad - punto de rocío

También se obtuvieron resultados que muestran el momento en que se alcanza el punto de rocío en las diferentes superficies probadas en las pruebas. Además, se añade la imagen de cómo se encuentran dichas superficies al final del experimento.

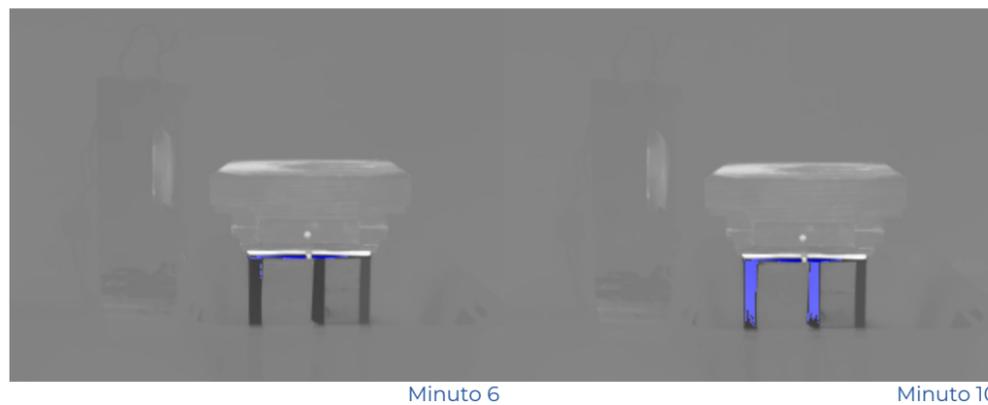
PRUEBA 12



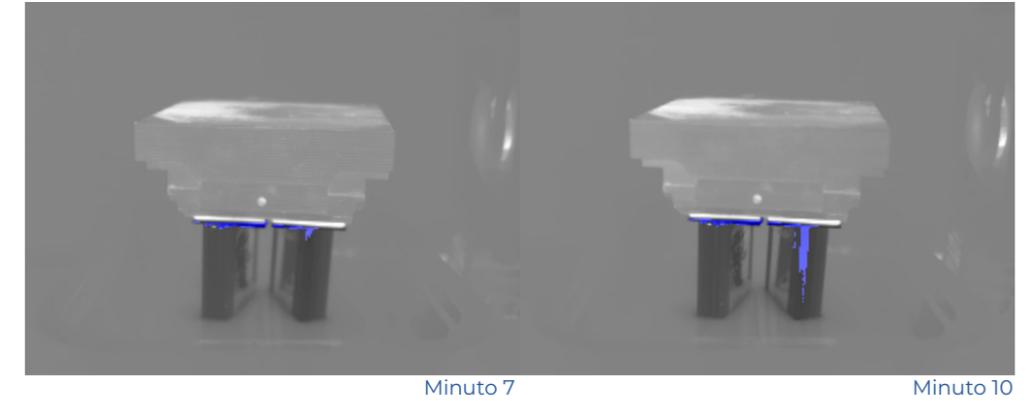
PRUEBA 13



PRUEBA 14



PRUEBA 15



PRUEBA 16



PRUEBA 16.2



PRUEBA 17



Segundo 28

Minuto 10

PRUEBA 18



Segundo 26

Minuto 10

PRUEBA 19



Segundo 21

Minuto 10

PRUEBA 20



Minuto 19

Minuto 70

PRUEBA 21



Minuto 5

Minuto 50

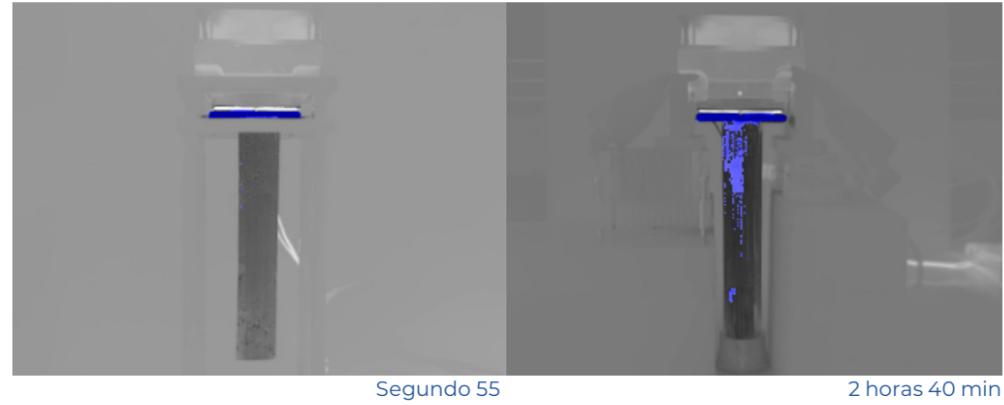
PRUEBA 22



Minuto 24

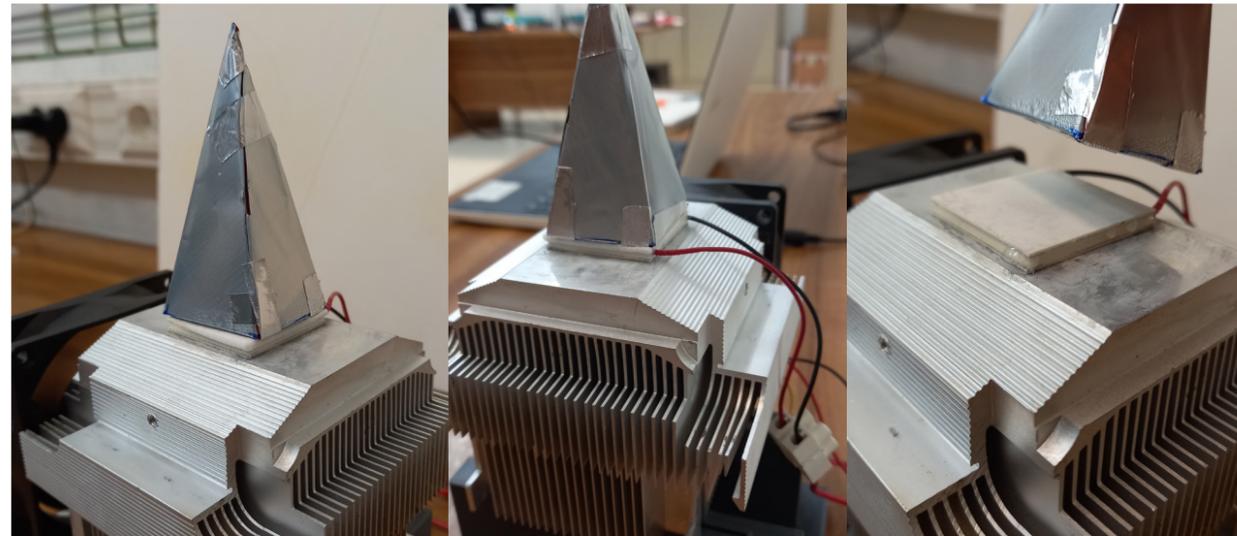
Minuto 40

PRUEBA 23

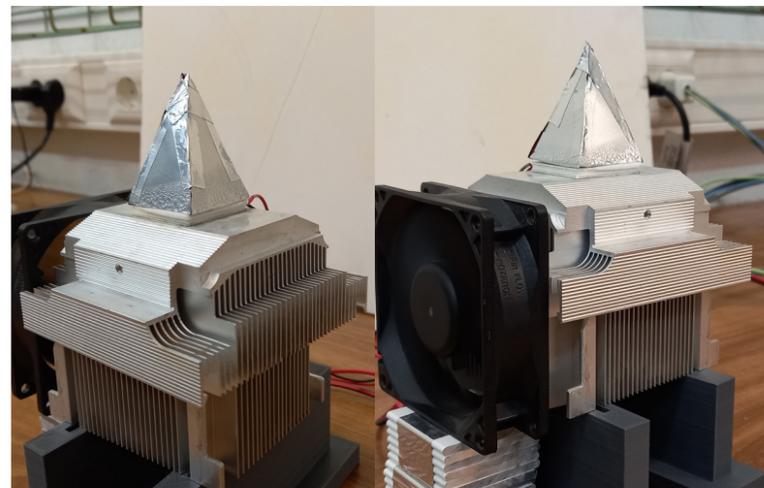


Resultados en imágenes

PRUEBA 16



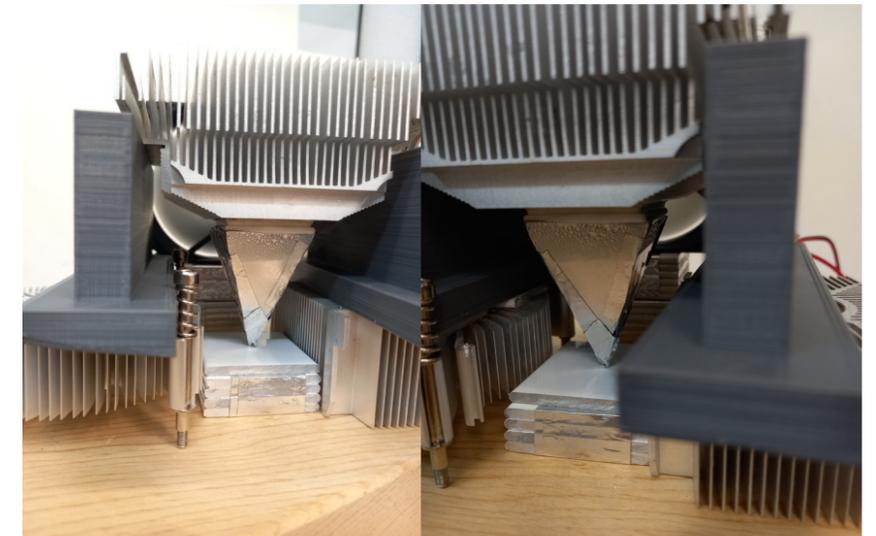
PRUEBA 16.2



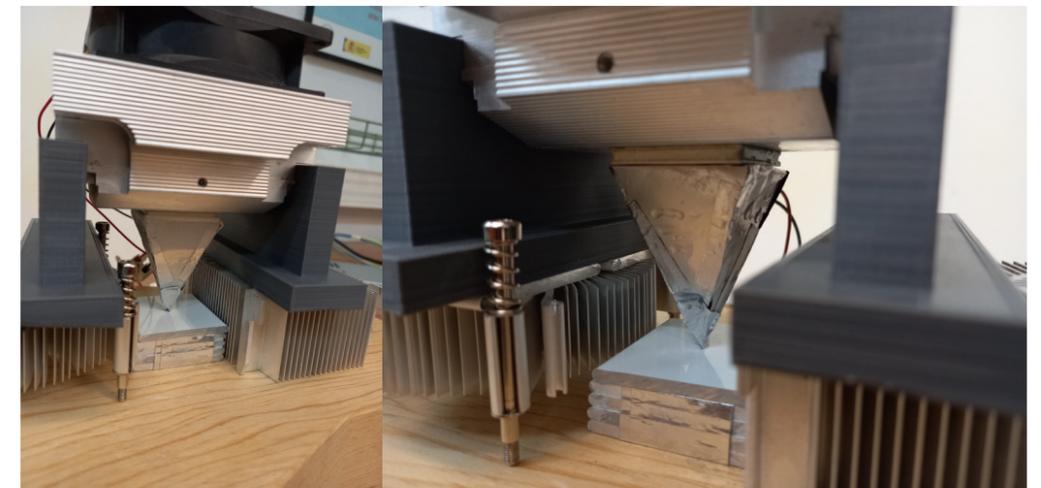
PRUEBA 17



PRUEBA 18



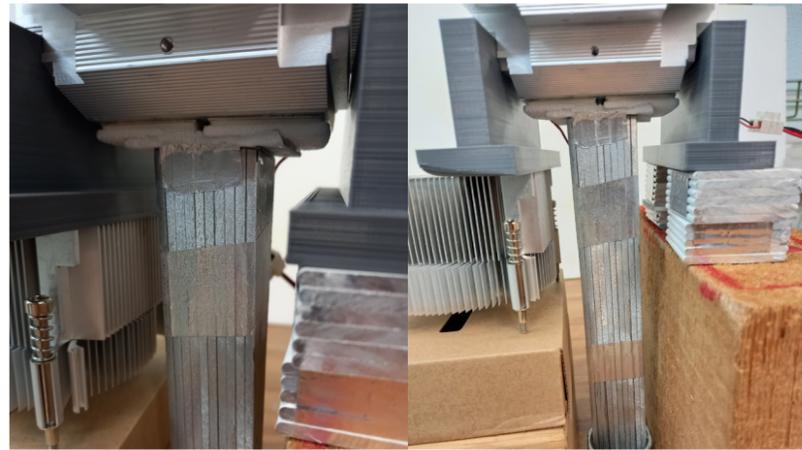
PRUEBA 19



PRUEBA 20



PRUEBA 21



PRUEBA 22



