

Proyecto ZEM: una Passivhaus con tecnología española camino de la Antártida

El fabricante guipuzcoano Orkli llevará su unidad “4 en uno” PKOM⁴ hasta la base Gabriel de Castilla en el continente austral

La base científica española Gabriel de Castilla, situada en la isla Decepción, en el archipiélago de las Shetland del Sur, al norte de la Antártida, es la más antigua (1988) de las misiones que mantiene España en el extranjero. A más de 1.000 km de cualquier punto habitado, la base sufre condiciones climáticas extremas. La isla, en realidad la caldera de un volcán en activo, registra una temperatura media anual de -2º C, con mínimas de -23º C durante el invierno austral y una humedad relativa del 80-90%; al mismo tiempo que su superficie, un desierto páramo de tipo volcánico cubierto de hielo y nieve, está barrida por constantes vientos capaces de alcanzar los 160 Km/h.

Se trata de una base de ocupación temporal que solo opera como misión científica durante el verano austral. Aunque depende del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, está gestionada, construida y mantenida por el Ejército de Tierra y depende del Ministerio de Defensa. En este contexto, el Ministerio está renovando completamente la actual estación, sustituyendo sus antiguas instalaciones por otras más eficientes y sostenibles. Este proyecto, denominado ZEM (Zero Energy Modules), obtuvo en junio de 2020 el apoyo de la Comisión Europea que, dentro de la categoría “LIFE Climate Change Mitigation projects”, financia el 55% de su coste; quedando el 45% restante a cargo de un consorcio formado por el Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza (CUD), la empresa ARPA Equipos Móviles de Campaña, el despacho de arquitectura Passivhaus Bhaus Arquitectura Eficiente y la Fundación de Hidrógeno de Aragón. Se trata, en palabras de Carlos Navarro, director de Bhaus, *“de un proyecto sumamente innovador, pues será la primera vez que en edificación en España se implementan tecnologías de hidrógeno verde”*.

Con este propósito, recientemente en la base de las FF.AA.EE San Jorge de Zaragoza, se han realizado las últimas pruebas del nuevo módulo que viajará a la Antártida. De hecho, además de Zaragoza, este módulo también se ha probado en alta montaña del Pirineo dadas las similitudes atmosféricas con el continente austral de este tipo de emplazamiento. Así, en los próximos meses, está previsto que el módulo parta hacia su destino final, la Base Científica Gabriel de Castilla.



Los retos del proyecto

Para poder desarrollar satisfactoriamente el proyecto, Bhauss y el CUD han tenido que encarar cuatro enfoques conceptuales: la construcción bajo el estándar *Passivhaus* en un clima extremo; el energético, de forma que integrase energías renovables; el logístico, que facilitase el transporte, montaje y mantenimiento; y el de seguridad, adaptado a los nuevos criterios (AJEPP-2 y AJEPP-4) de seguridad y medioambientales definidos para las FF.AA pertenecientes a la estructura de la OTAN, como es el caso de nuestro país.

Además, el proyecto debía cumplir tres premisas técnicas: el aislamiento, con una envolvente capaz de resistir (hasta -21º) las temperaturas más extremas del planeta; el empleo de energías renovables con almacenamiento de hidrógeno verde; y la tecnología de la máquina PKOM⁴ “4 en uno” de Orkli para regular en todo momento la temperatura del edificio bajo el estándar *passiv* en edificación sostenible. Un exclusivo conjunto modular que transformará completamente la base científica española Gabriel de Castilla.

A todo ello se sumaba otro condicionante único: los módulos de las nuevas instalaciones debían ser completamente desmontables y transportables en contenedores de 20 pies. De hecho, la complejidad logística de todo el proyecto ya merecería todo un artículo aparte, especialmente en lo tocante a la estabilidad, estructural pero también térmica. Estructural pues el módulo descansa sobre el permafrost antártico, siempre incierto e inestable; y térmica pues cualquier fallo en la envolvente puede suponer un puente térmico de enorme magnitud. Por si fuera poco, el módulo debía evitar además cualquier sobrecalentamiento en la unidad de comunicaciones y la consiguiente afectación en la capa de permafrost, con el riesgo de emisión de CO₂ que esto supondría.

En cualquier caso, bajo la premisa de la eficiencia, la arquitectura modular del proyecto establecía que los cuatro contenedores de la nueva base se dispondrían en forma de L, con un espacio común y central para baños y accesos; asimismo, los accesos a las distintas partes de las instalaciones (áreas de trabajo, descanso y servicios) se realizarían a través de un sistema de dobles puertas con objeto de reducir las pérdidas energéticas.

Por otro lado, si algo caracteriza al ZEM es su revolucionario sistema de almacenamiento energético gracias a sus dos depósitos de hidrógeno verde de media y alta presión; un sistema sumamente innovador en este tipo de instalaciones. De esta forma, se emplea un sistema de generación renovable mixto (fotovoltaico y eólico) a la vez que otro más complejo y que almacena en baterías de litio la electricidad producida a partir una pila de hidrógeno. Una solución muy elaborada que persigue alcanzar la máxima eficiencia energética en las condiciones medioambientales más extremas del planeta.



La solución

Con este objetivo, la solución para levantar el ZEM según el standard *Passivhaus* iba a descansar sobre tres patas: aislamiento extremo, energías renovables con almacenamiento de hidrógeno y el equipo PKOM⁴ de Orkli. En este sentido, para levantar las envolventes se ha empleado un sistema de paneles aislantes de 30 cm de lana mineral de alta densidad y XPS, unidos por machimbrado, con paneles inferiores reforzados con fibra de vidrio. El sistema posibilita tener una construcción sin puentes térmicos y con $N_{50} < 0,6 \text{ h-1}$, lo que garantiza la máxima hermeticidad. Es un sistema de aislamiento pensado para resistir no solo las temperaturas extremas, sino también la corrosión por salinidad, la humedad y la abrasión producido por los piroclastos impulsados por el viento.

Por su parte, en lo referente a la generación y almacenamiento energético, la solución adoptada consiste en la incorporación de placas fotovoltaicas de 5,4 kWp y un aerogenerador de 3 kWp, junto con el sistema de almacenamiento dual (baterías de litio de 3,6 kWh y 18 kg de hidrógeno H₂), esta combinación permitirá que el conjunto sea energéticamente autosuficiente. Lo que hace de la construcción una auténtica central de energía, de balance cero emisiones, reduciendo el consumo energético en un 90% respecto a la actual instalación. Según los cálculos establecidos por Bhaus, este consumo energético casi nulo permitirá evitar las emisiones CO₂ al exterior.

La alternativa de Orkli

Desde un principio, el consorcio técnico tuvo claro que la opción escogida para la climatización de los módulos pasaba por una solución cuatro en uno: ventilación mecánica con recuperación de calor; calefacción; refrescamiento y ACS de 212 L. Una solución que solo Orkli tiene en el mercado hoy: la unidad PKOM⁴; la única "todo en uno" con certificación *passiv*. De hecho, uno de los aspectos más valorados por parte de Bhaus es que elimina la necesidad de una unidad exterior y permite su instalación en un único espacio físico de apenas 0,75 m²; evitando así el desgaste abrasivo por piroclastos volcánicos al no estar expuesta a los fuertes vientos de la Antártida. La presencia de una unidad exterior -o en este caso su ausencia- no es un aspecto menor; pues, como sostiene la ingeniera Beatriz Rodríguez, profesora del CUD, se trata de un elemento clave, ya que *"garantiza que el funcionamiento inverter sea siempre contra la temperatura interior del módulo, mucho más estable que la exterior y sin sufrir temperaturas exteriores, lo que acaba repercutiendo en su rendimiento final"*.

La cuestión del desgaste y el mantenimiento, en este equipo, fue otro elemento muy apreciado por parte de Bhaus y el CUD, ya que la unidad PKOM⁴ permite un fácil acceso a sus componentes interiores, con lo que se facilita enormemente la reparación o sustitución de cualquier pieza interna.

Además, con la PKOM⁴ el proyecto elimina la necesidad de los grandes sistemas centralizados de calefacción y agua caliente propios de este tipo de instalaciones; sistemas frecuentemente condicionados por su gran consumo energético al tiempo que por su escasa optimización calorífica en condiciones extremas. La elección de este equipo supone una apuesta en firme para maximizar la eficiencia energética al minimizar las pérdidas térmicas; en la Antártida, críticas para la supervivencia humana.

En lo referente al rendimiento energético, la PKOM⁴ incorpora un doble sistema de bombas de calor independientes con compresores individuales de alto rendimiento, rotacionales e *inverter*, tanto para climatización como para ACS. Esto permite alcanzar el máximo rendimiento cuando operan al 70%, evitando los picos de consumo típicos al entrar el ACS en funcionamiento. *“Al no tener que trabajar las bombas bajo dos regímenes de funcionamiento distintos, crece la eficiencia de los sistemas y su vida útil”*, señala Rodríguez.

El rendimiento de la PKOM⁴ en estos módulos es excepcional. La ventilación con recuperación de calor alcanza un 88% estático y 85% entálpico según certificación Passivhaus Institut, con COP de 6.8 y EER de 4.2. De hecho, al tratarse de un equipo que utiliza el aire de extracción para el intercambio de las baterías exteriores, se propicia que no haya pérdidas energéticas y que el rendimiento tampoco se vea afectado por las fluctuaciones exteriores de temperatura. Asimismo, todo el sistema se puede monitorizar en remoto, ya sean los niveles de consumos como la optimización de los rendimientos de ventilación, humedad o saturación por CO₂, por ejemplo.

Para evitar el desgaste por las extremas condiciones antárticas, la mencionada ausencia de unidad exterior resulta. Y es que, en estas situaciones, el sistema funciona siempre contra la temperatura interior del módulo, mucho más estable que la exterior, sin tener que resistir a temperaturas tan bajas, lo que comprometería su rendimiento final.

En este sentido, la unidad cuenta con múltiples modos de funcionamiento adaptados a las condiciones extremas: ventilación con recuperación de alto rendimiento, climatización eficiente, producción de ACS independiente y enfriamiento gratuito mediante *freecooling*. La PKOM⁴ cuenta también con un doble sistema de baterías con condensador y evaporador con el fin de evitar la condensación higrométrica en el circuito de ACS. Todo un rango de posibilidades que el CUD ha valorado extraordinariamente para las condiciones antárticas.

De hecho, si algo llama la atención de esta instalación polar es la completa ausencia de otros sistemas adicionales de calefacción convencionales. No tiene mucho sentido pensar en otros sistemas tradicionales, que hubiesen comprometido la autosuficiencia energética del proyecto, al enfrentar la evidencia del mínimo consumo energético de la PKOM⁴ en condiciones extremas.

Dicho de otra manera: ¿para qué emplear sistemas convencionales de alta demanda energética cuando con la eficiencia de la PKOM⁴ basta y sobra para mantener habitables los módulos en la Antártida?

