

GUÍA DE INGENIERÍA TÉCNICA

Optimización de Balsas de Almacenamiento y Estrategias de Preservación de Agua Bruta frente al Estrés Hídrico en Europa

EDICIÓN DE REFERENCIA 2026

Modelización termodinámica de la evaporación pasiva, criterios de evaluación de polímeros de cobertura y protocolos de despliegue para la agroindustria y las administraciones locales.

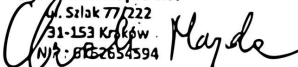
Editor: Hydropreserve - División de Soluciones Industriales Hydro Innov

Estado del Documento: Documento de Referencia Científica y Técnica B2B

Autores: Departamento I+D Hydro Innov / Soporte Técnico AWTT

Fecha de Publicación: Junio 2026

Hydro Innov Sp. z o.o.
ul. Szlak 77/222
31-153 Kraków
NIP: 632634394



1. Introducción y Retos Hidroclimáticos

El estrés hídrico en la Unión Europea ha dejado de ser una crisis coyuntural para convertirse en una mutación estructural de los índices de sequía. Las regiones del sur de Europa (Andalucía, Cataluña, Sicilia, Llanura Padana), así como las zonas de transición climática como Occitania o la región PACA, se enfrentan a un déficit de recarga de las aguas subterráneas, combinado con un aumento continuo de la radiación global neta.

En este contexto, la construcción de embalses, lagunas industriales, estaciones depuradoras (EDAR) y megabalsas responde a una lógica de seguridad de volúmenes. Sin embargo, almacenar el agua en superficie sin protección activa expone el recurso a un enemigo invisible pero masivo: la evaporación pasiva inducida por la radiación solar y la transferencia de masa eólica.

CONSTATAción CLIMATOLÓGICA

Una balsa descubierta en la zona mediterránea puede perder entre 1.100 mm y más de 1.500 mm de lámina de agua al año. Para un embalse de 10.000 m², esto representa una pérdida neta directa de hasta 15.000 m³ de agua al año, es decir, una reducción drástica de la eficiencia del almacenamiento.

2. Física y Termodinámica de la Evaporación

Para cuantificar con precisión la pérdida de agua de una lámina libre, los modelos de ingeniería se basan en la adaptación de las ecuaciones de transferencia de masa y balance térmico. La evaporación es fundamentalmente un cambio de fase líquido-vapor gobernado por el déficit de presión de vapor del aire ambiente y el aporte de energía cinética del viento.

La Ecuación de Transferencia de Masa

El flujo de evaporación unitario de una superficie de agua libre puede modelizarse en la siguiente forma lineal simplificada:

$$E = (a + b \times W) \times (es - ea)$$

Donde:

- **E** es la tasa de evaporación estandarizada (mm/día).
- **W** es la velocidad del viento medida a una altura normalizada de 2 metros (m/s).
- **es** es la presión de vapor de saturación a la temperatura de la superficie del agua (kPa).
- **ea** es la presión de vapor real del aire ambiente (kPa).
- **a** y **b** son coeficientes empíricos específicos de la geometría local y la exposición aerodinámica de la balsa.

Ruptura de la Capa Límite

El despliegue de una estructura modular flotante actúa directamente sobre dos variables clave de esta ecuación:

1. **Intercepción de la radiación energética:** Los módulos absorben y reflejan el flujo solar incidente, impidiendo la elevación de la temperatura del agua en superficie. En consecuencia, la presión *es* se desploma.
2. **Supresión de la capa límite eólica:** Al cubrir la superficie, los elementos impiden que el viento entre en contacto directo con la capa líquida, eliminando el coeficiente dinámico $b \times W$. El aire estancado atrapado bajo la geometría de los módulos se satura inmediatamente de humedad, bloqueando cualquier transferencia de masa posterior.

3. Análisis Comparativo de Materiales y Geometrías

La integridad estructural de una cubierta de balsa industrial o agrícola depende de las características fisicoquímicas del polímero utilizado. Los entornos exteriores imponen una resistencia extrema a la radiación ultravioleta (UV), a las variaciones térmicas y a las tensiones mecánicas debidas al viento.

3.1 La Elección del PEAD Virgen de Alta Densidad

Las cubiertas flotantes modulares tipo Hexprotect AQUA (AWTT) se fabrican exclusivamente con Polietileno de Alta Densidad (PEAD) virgen. A diferencia de los plásticos reciclados o de baja densidad (PEBD), el PEAD virgen ofrece enlaces moleculares poliméricos altamente estables.

Propiedad Técnica	PEAD Virgen Hydropreserve	Polímeros Reciclados estándar	Lonas/Geomembranas PVC
Gravedad Específica	0.95 - 0.96 g/cm ³	Variable (0.91 - 0.94)	>1.20 g/cm ³ (necesita flotadores)
Estabilización Anti-UV	Negro de Humo + Aditivos	Débil o superficial	Migra y se degrada en 3-5 años
Resistencia Térmica	-40°C a +70°C	Frágil con heladas < -5°C	Pérdida rápida de elasticidad

3.2 Geometría Modular vs. Lonas Tensadas

- **Ajuste dinámico de niveles:** Los módulos suben y bajan libremente con el nivel del agua de la balsa sin crear bolsas de aire ni tensiones mecánicas en los taludes.
- **Resistencia aerodinámica pasiva:** El agua se filtra ligeramente por encima del labio inferior del módulo en caso de vientos fuertes, lastrando la estructura de forma natural.
- **Permeabilidad a los gases controlada:** Los microintersticios permiten los intercambios de gases indispensables para el equilibrio químico natural del agua almacenada, al tiempo que reducen la superficie de evaporación disponible en un 96%.

4. Impactos Biológicos y Calidad del Agua

La reducción de la evaporación va acompañada de un beneficio agronómico e industrial igualmente crucial: el control de la proliferación de algas y bacterias. Al cubrir hasta el 99% de la superficie visible, la cubierta modular bloquea la penetración de la radiación fotosintéticamente activa (PAR). Privadas de luz, las microalgas, en particular las cianobacterias, ya no pueden sintetizar su energía.

IMPACTO EN LOS COSTES DE TRATAMIENTO

La supresión de algas supone una reducción de más del 75% en el consumo de productos químicos de tratamiento (cloro, sulfato de cobre, alguicidas) en lagunas industriales y reservas de agua bruta.

5. Protocolo de Dimensionamiento y Cálculo del ROI

El volumen anual preservado se calcula mediante la siguiente fórmula de ingeniería:

$$V_{\text{preservado}} = (S \times E_{\text{ref}} \times \eta) / 1000$$

Donde:

- **$V_{\text{preservado}}$** es el volumen anual de agua bruta preservado (m³/año).
- **S** es la superficie útil de la balsa en su nivel nominal (m²).
- **E_{ref}** es el valor de evaporación meteorológica regional (mm/año).
- **η** es el coeficiente de eficiencia global de la cubierta (0.88 a 0.96).

Si el valor de uso del agua en época de crisis se estima en 2,50 euros/m³, la ganancia financiera directa de una balsa de 5.000 m² en Andalucía se eleva a 13.200 euros al año, amortizando la infraestructura en un periodo de 3 a 5 años.

6. Especificaciones de Instalación y Mantenimiento

- **Cero obra civil:** Sin anclajes pesados en el fondo de la balsa.
- **Instalación con agua:** La instalación se realiza sin vaciar la balsa.
- **Mantenimiento cero:** El PEAD virgen autolubricado no acumula sedimentos pesados.