



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

MÁSTER EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE MÁSTER

DESARROLLO DE ESTACIÓN INTEGRAL DE FILTRADO, ESTERILIZACIÓN Y RECICLAJE DE AGUA INDUSTRIAL

Autor: Patricia Fernández Pérez

Director: Victoriano Conde Moro

Co-Director: Íñigo Sanz Fernández

Madrid

Junio de 2026

Declaración de originalidad

Declaro bajo mi responsabilidad que el Proyecto presentado con el título **Desarrollo de estación integral de filtrado, esterilización y reciclaje de agua industrial** e la ETS de Ingeniería – ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico **2025/2026** es de mi autoría y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada

Uso de Inteligencia Artificial¹

Declaro bajo mi responsabilidad que (indicar la opción correcta):

No he utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento.

He utilizado Inteligencia Artificial en la elaboración del presente documento y/o del Anexo B siempre en las condiciones permitidas por la Universidad Pontificia Comillas, es decir, aplicando el Nivel 2 de la [Escala de Evaluación de Perkins et al. \(2024\)](#): *“La IA puede utilizarse para actividades previas a la tarea, como la lluvia de ideas, la descripción y la investigación inicial. Este nivel se centra en el uso de la IA para la planificación, las síntesis y la generación de ideas, pero las evaluaciones deben hacer hincapié en la capacidad de desarrollar y refinar estas ideas de forma independiente”*. En concreto, las Inteligencia Artificial ha sido empleada para:

Durante el desarrollo de este proyecto de Fin de Máster se ha utilizado la Inteligencia Artificial (IA) exclusivamente como herramienta de apoyo, de acuerdo con lo establecido en el Nivel 2 de la escala de Perkins. Su uso se limitó a la lluvia de ideas sobre posibles alternativas tecnológicas de los equipos a emplear, identificación de aspectos normativos relevantes y apoyo en la estructuración inicial de la memoria. Adicionalmente, se usó para contrastar posibles enfoques de diseño y durante la investigación inicial del apartado Estado de la Cuestión.

Todas las decisiones de ingeniería incorporadas en el proyecto responden a un proceso propio de análisis.


¹ Esta declaración se refiere al uso de la Inteligencia Artificial generativa para realizar los documentos del Proyecto (Anexo B y Memoria). No aplica a Proyectos donde, por su naturaleza, deban emplear inteligencia artificial como parte de los mismos (aplicación de técnicas de aprendizaje automático, redes neuronales, análisis de datos...)



Firmado (alumno): Patricia Fernández Pérez

Fecha: 2/06/2026

Autorización para la entrega del Proyecto

El Director del Proyecto	El co-Director del Proyecto (si aplica)
	
Fdo: Victoriano Conde Moro	Fdo: Iñigo Sanz Fernández
Fecha: 08/06/2026	Fecha:

Agradecimientos

Este trabajo, que pone punto final a mi etapa en la universidad, se lo dedico a mis padres. Sin su generosidad y esfuerzo no me habría podido convertir en la ingeniera que soy hoy.

Me gustaría agradecer también a mis directores, Íñigo y Victoriano, quienes me han guiado durante la realización de este proyecto, y me han dado su ayuda y paciencia en todo momento.

Gracias también a mis compañeros y profesores que me han acompañado durante estos seis años y me han permitido aprender de ellos. Destaco a Marta, una excelente compañera que más que eso, hoy es una gran amiga.

Con todo mi cariño, a mi abuela, que siempre dudó de si conseguiría verme terminar esta etapa y hoy podemos celebrarlo juntas.

Y a mis amigas, Miriam, Yaiza, Bego y Carlotta, quienes me han visto empezar y terminar esta etapa. Finalmente, a Carli, Silvia, Paula y Carmen, que llegaron en el tramo final y más especial de esta aventura.

DESARROLLO DE ESTACIÓN INTEGRAL DE FILTRADO, ESTERILIZACIÓN Y RECICLAJE DE AGUA INDUSTRIAL

Autor: Patricia Fernández Pérez.

Directores: Victoriano Conde Moro e Íñigo Sanz Fernández

Entidad Colaboradora: Colaboración con ESDI S.L, empresa dedicada a la mejora de procesos productivos.

RESUMEN DEL PROYECTO

En este Trabajo Fin de Máster se diseña un sistema compacto, modular y automatizado para el tratamiento y reutilización de agua de refrigeración procedente de una instalación industrial alimentaria. El sistema integra una serie de etapas como: pretratamiento, filtración, desinfección por radiación ultravioleta y control continuo de parámetros buscando el cumplimiento de la calidad Ia. A+ el Real Decreto 1085/2024. El resultado es una solución técnicamente viable, basada en componentes estándar, con bajo impacto ambiental y económico, preparada para su fabricación e integración en procesos industriales ya existentes.

Palabras clave: reutilización de agua, filtración industrial, desinfección UV, automatización, sostenibilidad.

1. Introducción

La gestión eficiente del agua se ha convertido en uno de los principales retos de la industria actual, especialmente en el sector alimentario que exige elevados requisitos sanitarios. El endurecimiento del marco normativo en materia de reutilización y control de calidad del agua, junto con la necesidad de reducir el consumo de recursos y el impacto ambiental, necesita del desarrollo de soluciones técnicas fiables y fácilmente integrables en plantas existentes.

En este contexto, la reutilización de agua empleada en procesos industriales como son la refrigeración o la limpieza de entornos y equipos representa una oportunidad significativa de mejora, siempre que se garantice el cumplimiento de los estándares de calidad exigidos. Para ello, es imprescindible combinar tecnologías de tratamiento físico, desinfección eficaz y sistemas de control continuo que aseguren la trazabilidad y la seguridad del proceso. Con todo ello, el presente proyecto aborda el diseño integral de un sistema de tratamiento y reutilización de agua industrial, orientado a su implantación real, integrando criterios técnicos, aplicando a su vez el marco normativo actual, sin dejar de lado la rentabilidad económica y mejora de la sostenibilidad.

2. Definición del proyecto

El proyecto consiste en el diseño de una estación compacta de tratamiento de agua destinada a la reutilización del agua de refrigeración de una cadena de transporte en una instalación industrial alimentaria, donde el agua no entra en contacto directo con el producto, pero debe cumplir con los requisitos de calidad según lo establecido en el Real Decreto 1085/2024 del 22 de octubre.

El sistema se dimensiona para un rango de caudales comprendido entre 200 y 340 L/h y presiones de operación de 1,2 a 6 bar, utilizando agua potable de red como alimentación, cuyo rango de dureza requerido para el diseño se sitúa entre 0,9-1,8 mmol/L, valor

compatible con las condiciones de suministro de red (0,6-1,8 mmol/L). La arquitectura del proceso incluye un separador de grasas, una etapa de filtración progresiva, una unidad de desinfección por radiación ultravioleta y un cartucho de carbón activo para la eliminación de cloro residual.

Además, la estación incorpora instrumentación para la medida continua de parámetros como el caudal, pH, conductividad y turbidez, conectada a un sistema de control basado en PLC y HMI para visualizar e interactuar con el proceso en todo momento. De esta manera, se permite la detección temprana de desviaciones, la generación de alarmas por saturación de filtros o pérdida de eficacia de la desinfección, y la aplicación de estrategias de mantenimiento predictivo, así como de mantenimiento manual, conforme a un análisis de riesgos tipo Design FMEA.

El diseño se basa en componentes estándar de mercado, con criterios de fabricación, modularidad, escalabilidad y transportabilidad, asegurando el menor impacto visual posible, una fácil reposición, facilidad de operación y mantenimiento, y un coste total de propiedad optimizado a lo largo de su ciclo de vida.

3. Descripción del modelo/sistema/herramienta

En la Ilustración 1 se muestra el esquema principal P&ID de la estación de filtrado, con todas las etapas que lo conforman. El objetivo principal es permitir la recuperación de aguas auxiliares del proceso para reducir el consumo de agua de red sin interferir en la eficacia del proceso principal. Tal y como se muestra, el tren comienza con un filtro de sólidos gruesos, encargado de retener partículas de gran tamaño. A continuación, se encuentra un separador de grasas con el fin de eliminar aceites y compuestos flotantes. Posteriormente, el agua es impulsada mediante un sistema de bombas en paralelo, que permite mantener el caudal necesario bajo las condiciones previstas y llegar a la etapa de filtración progresiva, donde se procede a la eliminación de sólidos en suspensión. Tras esta etapa, se encuentra el proceso de desinfección mediante radiación ultravioleta que permite la inactivación microbiológica sin la necesidad de añadir reactivos químicos. Como etapa final, se encuentra un filtro de carbón activo que elimina las trazas de cloro residual y elimina olores.

El sistema se completa con sensores de proceso que permiten monitorizar variables como el caudal, pH, conductividad y turbidez entre otros, que vigilan en tiempo real la calidad del agua según los límites establecidos en las normativas aplicadas.

Finalmente, para controlar el proceso, el sistema se basa en un PLC compacto, encargado de la gestión lógica, junto con una interfaz HMI que permite al operario interactuar con el sistema para la gestión de alarmas y distintos estados de funcionamiento.

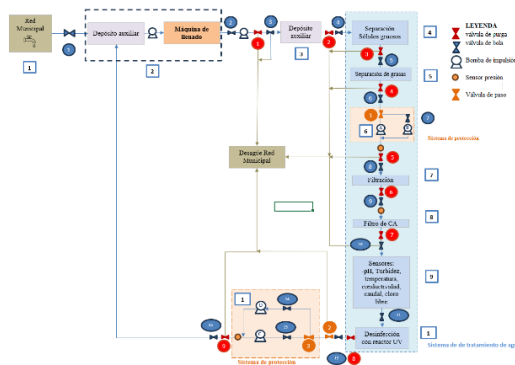


Ilustración 1: Esquema P&ID del sistema

4. Resultados

El desarrollo del proyecto ha permitido definir una solución para el tratamiento y reutilización de agua en entornos industriales, cumpliendo los requisitos funcionales, normativos establecidos por el cliente. En primer lugar, se ha diseñado un tren de tratamiento previamente descrito, basado en tecnologías estándar de filtración, desinfección y acondicionamiento, dimensionado para alcanzar los niveles de calidad del agua exigidos por la normativa aplicable, bajo las condiciones de operación y las hipótesis consideradas durante el diseño. La selección de equipos comerciales ha permitido configurar una solución modular, escalable y fabricable, facilitando su implementación y su mantenimiento. Desde el punto de vista de integración, el sistema se ha concebido como una unidad compacta, capaz de integrarse directamente en líneas de producción industrial, como las máquinas de llenado tipo SIG Combibloc, sin interferir en la continuidad del proceso principal. La Ilustración 2 muestra una representación del sistema integrado en una línea de llenado industrial, destacando su tamaño reducido, su disposición modular y su capacidad de adaptación al entorno productivo.



Ilustración 2: Integración del sistema de tratamiento con una línea de llenado

En el ámbito de la automatización, se ha desarrollado una arquitectura de control basada en PLC y HMI, que permite la supervisión en tiempo real del sistema, la gestión de alarmas y la implementación de estrategias de mantenimiento predictivo, mejorando la fiabilidad operativa. Adicionalmente, se ha realizado un análisis de riesgos mediante metodología FMEA, que ha permitido identificar los principales modos de fallo del sistema y definir medidas de mitigación que aumentan la seguridad del sistema y definir los puntos críticos. Por último, se ha desarrollado un modelo de viabilidad económica, evaluando distintos escenarios de operación en función del número de turnos de la planta

y cuyo resultado muestra que la rentabilidad del sistema es especialmente sensible al precio del agua y al tiempo de operación.

5. Conclusiones

El presente trabajo sustenta la viabilidad técnica y económica de una solución compacta para el tratamiento y reutilización de agua en entornos industriales, basada en las hipótesis de diseño y condiciones de operación consideradas. Sin embargo, cabe destacar que este proyecto se encuentra en fase de diseño y no se han realizado pruebas en condiciones reales. Los resultados obtenidos muestran que la viabilidad técnica y económica es factible únicamente bajo las condiciones e hipótesis planteadas durante el desarrollo. El análisis realizado indica que la rentabilidad del sistema depende en gran medida del precio del agua y del nivel de operación de la planta, lo que refuerza su valor potencial como herramienta de gestión del recurso hídrico. En este contexto, cabe concluir que la solución propuesta contribuye a la reducción del consumo de agua y se posiciona como una alternativa eficiente para mejorar la sostenibilidad en el ámbito industrial, y deja abierta la posibilidad de avanzar hacia fases posteriores, que incluirían la construcción de un prototipo real, su evaluación experimental y validación en condiciones operativas.

6. Referencias

Alvarado Granados, J. F., & Ramos Villanueva, J. E. (2010). *Estado del arte de las estructuras: trampas de grasa y desarenadores en sistemas de alcantarillado* (Trabajo de grado). Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.

BBVA. (2024, 15 de abril). *ROI: qué es el retorno de la inversión y cuál es su fórmula*. <https://www.bbva.com/es/empresas/roi-que-es-el-retorno-de-la-inversion-y-cual-es-su-formula/>

BBVA. (2025, julio). *Guía de finanzas para no financieros: interés compuesto*. <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/guia-de-finanzas-para-no-financieros-interes-compuesto/>

BBVA Research. (2025). *Situación España. Diciembre 2025*. BBVA. <https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2025/12/Situacion-Espana-diciembre25-1.pdf>

BBVA. (2025). *¿Cómo calcular el periodo de recuperación de una inversión (payback)?* BBVA Educación Financiera. <https://www.bbva.mx/educacion-financiera/ahorro/inversion/calcular-periodo-de-recuperacion-inversion.html>

Cledera Castro, M. del M., Morales Polo, C., & Hueso Kortekaas, K. (s. f.). *Ingeniería del agua y contaminación. Tema 2: Potabilización*. Universidad Pontificia Comillas

Conde, V. (s.f.). *FMEA – Lean Manufacturing*. Empresa Lean

Domínguez, E., Giorgi, A., & Gómez, N. (2020). *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Extraído de:

https://remaqua.conicet.gov.ar/download/libro/La-Bioindicacion-en-el-monitoreo-y-evaluacion-de-los-sistemas-fluviales-de-la-Argentina_compressed.pdf

Dyna. (2009). *Potabilización de agua para consumo. Tratamiento estándar*. Revista Facultad Nacional de Minas, 76(160), Medellín.

EPA. (2006). *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-10/ultraviolet-disinfection-guidance-manual-2006.pdf>

Environmental Protection Agency. (2020). *Water treatment manual: Filtration*. EPA.

Gobierno de España. (2024). *Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua* (BOE-A-2024-21701). Boletín Oficial del Estado, núm. 257, p. 36. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2024/BOE-A-2024-21701-consolidado.pdf>

Gobierno de España. (2023). *Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2023/BOE-A-2023-628-consolidado.pdf>

Lobos, G., Vallejos, O., Caroca, C., & Marchant, C. (2005). *El mercado de los bonos de carbono (“bonos verdes”): Una revisión*. RIAT Revista Interamericana de Ambiente y Turismo, 1. [10-44-1-PB-libre.pdf](https://www.riat.org/revista/10-44-1-PB-libre.pdf)

Olmedo Sánchez, T. (2008). *Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud*. Higiene y Sanidad Ambiental, 8, 335–342 [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/publica/public/inline-files/bc51018bc59c356_Hig.Sanid_Ambient.8.335-342\(2008\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/publica/public/inline-files/bc51018bc59c356_Hig.Sanid_Ambient.8.335-342(2008).pdf)

Operador del Mercado Ibérico de la Energía (OMIE). (2026). *Datos del mercado diario de electricidad*. <https://www.omie.es>

Ordóñez Maldonado, J. D., & Pesantez Márquez, W. E. (2017). *La filtración gruesa, aplicada al tratamiento de aguas superficiales*. Universidad de Cuenca, Ecuador. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9cb2a8f3-d69e-4981-b241-9ed363a2ef2a/content>

Organización Mundial de la Salud. (2024, marzo). *Saneamiento*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-a). *ODS 9: Industria, innovación e infraestructura*. <https://www.pactomundial.org/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura/>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-b). *ODS 6: Agua limpia y saneamiento*. <https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-c). *ODS 12: Producción y consumo responsables*. <https://www.pactomundial.org/ods/12-produccion-y-consumo-responsables/>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2020). *Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos*

mínimos para la reutilización del agua. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://www.boe.es/doue/2020/177/L00032-00055.pdf>

Pietrobon Tarrán, E. (2002). *Desinfección por luz ultravioleta*. Material docente, nivel intermedio. [5 Luz UV Desinfeccion-libre.pdf](#)

Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Sérodes, J., & Sadiq, R. (2007). *Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación*. *Interciencia*, 32(11). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007

Rodríguez Mondéjar, J. A. (2024). *Plantillas: GEMMA y PackML*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Rodríguez Mondéjar, J. A. (2024). *Tecnologías para la automatización: Automatismos programados (PLC)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Romero, M. (s.f.). *Tratamientos utilizados en potabilización de agua (Boletín Electrónico No. 08)*. Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf

Serrano-Sanz, J. M. (2017). El precio del agua en las ciudades: efectos del modelo de gestión. *Papeles De Economía Española*. https://www.academia.edu/40335871/EL_PRECIO_DEL_AGUA_EN_LAS_CIUDADES_EFECTOS_DEL_MODELO_DE_GESTI%C3%93N

Tennessee Department of Environment and Conservation (TDEC). (201). *Introduction to water treatment*. Fleming Training Center. https://www.tn.gov/content/dam/tn/environment/water/ftc/references/study-guides/ftc_study-301_intro-wt-1.pdf

Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica. (2019). *Sistemas de filtración: Marco teórico y fundamentos de la separación sólido-fluido*. Ica, Perú. <https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/133061df-ed3d-4242-bda4-95e2ee51c1b6/content>

Wright, H. B., & Cairns, W. L (s.f.). *Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta*. Trojan Technologies Inc., Ontario, Canadá. <https://www.elaguapotable.com/Desinfeccion%20del%20agua%20UV%20Trojan%20Thenologies.pdf>

DEVELOPMENT OF AN INTEGRAL FACILITY FOR INDUSTRIAL WATER FILTRATION, STERILIZATION, AND RECYCLING

Author: Patricia Fernández Pérez.

Supervisor: Victoriano Conde Moro and Íñigo Sanz Fernández.

Collaborating Entity: Collaboration with ESDI S.L, a company dedicated to the optimization of industrial processes.

ABSTRACT

This Master's Thesis presents the design of a compact, modular, and automated system for the treatment and reuse of cooling water from a food processing plant. The system integrates several stages, including pretreatment, filtration, ultraviolet disinfection, and continuous parameter monitoring to ensure compliance with Ia. A+ water quality standards according to Royal Decree 1085/2024. The result is a technically viable solution, based on standard components, with low environmental and economic impact, ready for manufacturing, scaling up, and integration into existing industrial processes.

Keywords: water reuse, industrial filtration, UV disinfection, automation, sustainability

1. Introduction

Efficient water management has become one of the main challenges for industry today, especially in the food sector, which demands stringent sanitary requirements. The tightening of regulations regarding water reuse and quality control, along with the need to reduce resource consumption and environmental impact, necessitates the development of reliable technical solutions that are easily integrated into existing plants.

In this context, the reuse of water employed in industrial processes such as cooling or cleaning environments and equipment represents a significant opportunity for improvement, provided that compliance with the required quality standards is guaranteed. To achieve this, it is essential to combine physical treatment technologies, effective disinfection, and continuous monitoring systems that ensure traceability and process safety.

Therefore, this project addresses the comprehensive design of an industrial water treatment and reuse system, geared towards its practical implementation. It integrates technical criteria, applies the current regulatory framework, and considers both economic viability and improved sustainability.

2. Project Definition

The project involves the design of a compact water treatment plant for the reuse of cooling water from a conveyor belt in a food processing facility. While the water does not come into direct contact with the product, it must meet the quality requirements established in Royal Decree 1085/2024 of October 22.

The system is sized for flow rates between 200 and 340 L/h and operating pressures from 1.2 to 6 bar, using potable mains water as the feed. The required hardness level for the design is between 0.9 and 1.8 mmol/L, a value compatible with the mains supply conditions (0.6–1.8 mmol/L). The process architecture includes a grease separator, a

progressive filtration stage, an ultraviolet disinfection unit, and an activated carbon cartridge for residual chlorine removal.

Furthermore, the station incorporates instrumentation for the continuous measurement of parameters such as flow rate, pH, conductivity, and turbidity, connected to a PLC and HMI-based control system for visualizing and interacting with the process at all times. This allows for the early detection of deviations, the generation of alarms for filter saturation or loss of disinfection effectiveness, and the application of predictive maintenance strategies, as well as manual maintenance, in accordance with a Design FMEA risk analysis.

The design is based on standard market components, with manufacturing, modularity, scalability, and transportability criteria, ensuring minimal visual impact, easy replacement, ease of operation and maintenance, and an optimized total cost of ownership throughout its lifecycle.

3. System Description

Figure 1 shows the main P&ID diagram of the filtration station, including all its stages. The primary objective is to enable the recovery of auxiliary process water to reduce the use of mains water without interfering with the effectiveness of the main process. As shown, the train begins with a coarse solids filter, responsible for retaining large particles. Next, there is a grease separator designed to remove oils and floating compounds. Subsequently, the water is pumped through a parallel pump system to ensure flow rate and reach the progressive filtration stage, where suspended solids are removed. Following this stage is the disinfection process using ultraviolet radiation, which allows microbiological inactivation without the need to add chemical reagents. The final stage is an activated carbon filter that removes residual chlorine traces and eliminates odors.

The system is completed with process sensors that monitor variables such as flow rate, pH, conductivity, and turbidity, among others, ensuring water quality according to the applicable regulations.

Finally, to control the process, the system is based on a compact PLC responsible for logical management, together with an HMI interface that allows the operator to interact with the system for alarm management and various operating states.

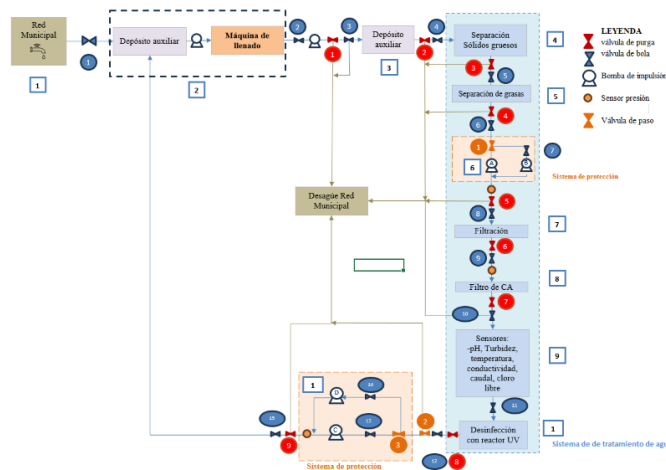


Figure 1: P&ID of the system

4. Results

The development of the project has enabled the definition of a technical solution for the treatment and reuse of water in industrial environments, meeting the functional, regulatory, and operational requirements established by the client. Firstly, a treatment train, previously described, has been designed based on standard filtration, disinfection, and conditioning technologies, capable of ensuring the water quality levels required by the applicable regulations.

The selection of commercial equipment has allowed the configuration of a modular, scalable, and manufacturable solution, facilitating its implementation and maintenance. From an integration perspective, the system has been conceived as a compact unit, capable of being directly integrated into industrial production lines, such as SIG Combibloc filling machines, without interfering with the continuity of the main process. Figure 2 shows a representation of the system integrated into an industrial filling line, highlighting its small size, modular layout, and adaptability to the production environment.



Figure 2: System integration with a filling line

In the field of automation, a control architecture based on PLC and HMI has been developed, allowing real-time system monitoring, alarm management, and the implementation of predictive maintenance strategies, thereby improving operational reliability.

Additionally, a risk analysis was conducted using the FMEA methodology, which identified the main failure modes of the system and defined mitigation measures that enhance system safety and identify critical points.

Finally, an economic viability model was developed, evaluating different operating scenarios based on the number of plant shifts. The results show that the system's profitability is particularly sensitive to the water price and the operating time.

5. Conclusions

This work demonstrates the technical and economic feasibility of a compact solution for the treatment and reuse of water in industrial environments. The developed system enables the transfer of treatment principles commonly applied in large-scale facilities such as Water Treatment Plants (WTP) and Wastewater Treatment Plants (WWTP) into a modular architecture directly on production lines. Moreover, the conducted analysis shows that the system's profitability largely depends on the water price and the plant's operational level, reinforcing its value as a water resource management tool. In this context, the proposed solution contributes to reducing water consumption and positions itself as an efficient alternative to improve sustainability in the industrial sector.

6. References

Alvarado Granados, J. F., & Ramos Villanueva, J. E. (2010). *Estado del arte de las estructuras: trampas de grasa y desarenadores en sistemas de alcantarillado* (Trabajo de grado). Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.

BBVA. (2024, 15 de abril). *ROI: qué es el retorno de la inversión y cuál es su fórmula*. <https://www.bbva.com/es/empresas/roi-que-es-el-retorno-de-la-inversion-y-cual-es-su-formula/>

BBVA. (2025, julio). *Guía de finanzas para no financieros: interés compuesto*. <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/guia-de-finanzas-para-no-financieros-interes-compuesto/>

BBVA Research. (2025). *Situación España. Diciembre 2025*. BBVA. <https://www.bbvarsearch.com/wp-content/uploads/2025/12/Situacion-Espana-diciembre25-1.pdf>

BBVA. (2025). *¿Cómo calcular el periodo de recuperación de una inversión (payback)?* BBVA Educación Financiera.

<https://www.bbva.mx/educacion-financiera/ahorro/inversion/calcular-periodo-de-recuperacion-inversion.html>

Cledera Castro, M. del M., Morales Polo, C., & Hueso Kortekaas, K. (s. f.). *Ingeniería del agua y contaminación. Tema 2: Potabilización*. Universidad Pontificia Comillas

Conde, V. (s.f.). *FMEA – Lean Manufacturing*. Empresa Lean

Domínguez, E., Giorgi, A., & Gómez, N. (2020). *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Extraído de: https://remaqua.conicet.gov.ar/download/libro/La-Bioindicacion-en-el-monitoreo-y-evaluacion-de-los-sistemas-fluviales-de-la-Argentina_compressed.pdf

Dyna. (2009). *Potabilización de agua para consumo. Tratamiento estándar*. Revista Facultad Nacional de Minas, 76(160), Medellín.

EPA. (2006). *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-10/ultraviolet-disinfection-guidance-manual-2006.pdf>

Environmental Protection Agency. (2020). *Water treatment manual: Filtration*. EPA.

Gobierno de España. (2024). *Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua* (BOE-A-2024-21701). Boletín Oficial del Estado, núm. 257, p. 36. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2024/BOE-A-2024-21701-consolidado.pdf>

Gobierno de España. (2023). *Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*. Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2023/BOE-A-2023-628-consolidado.pdf>

Lobos, G., Vallejos, O., Caroca, C., & Marchant, C. (2005). *El mercado de los bonos de carbono (“bonos verdes”): Una revisión*. RIAT Revista Interamericana de Ambiente y Turismo, 1. [10-44-1-PB-libre.pdf](https://www.riat.org/boletines/10-44-1-PB-libre.pdf)

Olmedo Sánchez, T. (2008). *Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud*. Higiene y Sanidad Ambiental, 8, 335–342 [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018bc59c356_Hig.Sanid_Ambient.8.335-342\(2008\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018bc59c356_Hig.Sanid_Ambient.8.335-342(2008).pdf)

Operador del Mercado Ibérico de la Energía (OMIE). (2026). *Datos del mercado diario de electricidad*. <https://www.omie.es>

Ordóñez Maldonado, J. D., & Pesantez Márquez, W. E. (2017). La filtración gruesa, aplicada al tratamiento de aguas superficiales. Universidad de Cuenca, Ecuador. <https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9cb2a8f3-d69e-4981-b241-9ed363a2ef2a/content>

Organización Mundial de la Salud. (2024, marzo). Saneamiento. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-a). *ODS 9: Industria, innovación e infraestructura*. <https://www.pactomundial.org/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura/>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-b). *ODS 6: Agua limpia y saneamiento*. <https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-c). *ODS 12: Producción y consumo responsables*. <https://www.pactomundial.org/ods/12-produccion-y-consumo-responsables/>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2020). *Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua*. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://www.boe.es/doue/2020/177/L00032-00055.pdf>

Pietrobon Tarrán, E. (2002). *Desinfección por luz ultravioleta*. Material docente, nivel intermedio. [5 Luz UV Desinfeccion-libre.pdf](#)

Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Sérodes, J., & Sadiq, R. (2007). *Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación*. Interciencia, 32(11). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007

Rodríguez Mondéjar, J. A. (2024). *Plantillas: GEMMA y PackML*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Rodríguez Mondéjar, J. A. (2024). *Tecnologías para la automatización: Automatismos programados (PLC)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Romero, M. (s.f.). Tratamientos utilizados en potabilización de agua (Boletín Electrónico No. 08). Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar, Guatemala. https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf

Serrano-Sanz, J. M. (2017). El precio del agua en las ciudades: efectos del modelo de gestión. *Papeles De Economía Española*.

https://www.academia.edu/40335871/EL_PRECIO_DEL_AGUA_EN_LAS_CIUDADES_EFECTOS_DEL_MODELO_DE_GESTI%C3%93N

Tennessee Department of Environment and Conservation (TDEC). (201). *Introduction to water treatment*. Fleming Training Center.

https://www.tn.gov/content/dam/tn/environment/water/ftc/references/study-guides/ftc_study-301_intro-wt-1.pdf

Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica. (2019). *Sistemas de filtración: Marco teórico y fundamentos de la separación sólido-fluido*. Ica, Perú.

<https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/133061df-ed3d-4242-bda4-95e2ee51c1b6/content>

Wright, H. B., & Cairns, W. L (s.f.). *Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta*. Trojan Technologies Inc., Ontario, Canadá.

<https://www.elaguapotable.com/Desinfeccion%20del%20agua%20UV%20Trojan%20Thenologies.pdf>

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
1.1 Motivación del proyecto	5
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías.....	7
2.1 Visión de cliente y requisitos funcionales.....	7
2.2 Criterios de calidad del agua	10
2.3 Descripción de las tecnologías del tratamiento.....	12
2.3.1 Separación de grasas y Sólidos flotantes	12
2.3.2 Filtración de Sólidos Gruesos.....	13
2.3.3 Filtración de Grasas	14
2.3.4 Filtración de afino (retención de partículas finas y coloides)	15
2.3.5 Desinfección por radiación ultravioleta.....	16
2.3.6 Eliminación del cloro residual.....	17
2.3.7 Monitorización de parámetros	19
Capítulo 3. Estado de la Cuestión.....	21
Capítulo 4. Definición del Trabajo	26
4.1 Justificación.....	26
4.1.1 Justificación técnica e industrial.....	27
4.1.2 Justificación económica	28
4.1.3 Justificación ambiental y de sostenibilidad	28
4.2 Objetivos	30
4.3 Metodología.....	32
4.4 Planificación	34
4.5 Estimación Económica.....	36
4.5.1 Alcance y criterios de estimación.....	36
4.5.2 Escenarios de operación considerados	36
4.5.3 Costes de inversión (Capex).....	37
4.5.4 Costes de Operación y mantenimiento (opex).....	38
4.5.5 Costes de Desmantelamiento	42
4.5.6 Modelo de ingresos del proyecto.....	43

4.5.7 Rentabilidad del proyecto.....	46
4.5.8 Conclusiones sobre la rentabilidad	52
Capítulo 5. Modelo Desarrollado.....	54
5.1 Análisis del sistema.....	54
5.2 Diseño del sistema.....	56
5.3 Lógica de control e implementación	68
5.4 Análisis Modal de Fallos y Efectos (FMEA)	77
Capítulo 6. Análisis de Resultados.....	87
6.1 Validación técnica de la calidad del agua	87
6.2 Desempeño operativo y fiabilidad del sistema	88
6.3 Análisis económico y sensibilidad del modelo.....	88
6.4 Limitaciones del estudio.....	89
6.5 Síntesis de los resultados del proyecto.....	90
Capítulo 7. Conclusiones y Trabajos Futuros.....	92
Capítulo 8. Lista de Referencias	97
ANEXO I: Modelo de cálculo y análisis técnico-Económico.....	100
ANEXO II: Características técnicas de los equipos seleccionados	101

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1: Esquema P&ID del sistema.....</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 2: Integración del sistema de tratamiento con una línea de llenado</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 3: Esquema P&ID de la estación integral de filtrado</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 4: Depósito auxiliar</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 5: Filtro de Sólidos gruesos.....</i>	<i>58</i>
<i>Ilustración 6: Separador de grasas.....</i>	<i>59</i>
<i>Ilustración 7: Bomba de impulsión.....</i>	<i>60</i>
<i>Ilustración 8: Carcasa triple de Filtro</i>	<i>62</i>
<i>Ilustración 9: Lámpara UV.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 10: Válvula de bola.....</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 11: Válvula de paso</i>	<i>64</i>
<i>Ilustración 12: Integración del sistema de llenado con el sistema de esterilización</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 13: Representación del sistema Integrado de Esterilización.....</i>	<i>67</i>
<i>Ilustración 14: GRAFCET de control secuencial del sistema de tratamiento</i>	<i>75</i>
<i>Ilustración 15: Pantalla de operación automática.....</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 16: Pantalla de arranque y paro</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 17: Pantalla supervisión de parámetros</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 18: Pantalla de procedimiento guiado de mantenimiento</i>	<i>76</i>
<i>Ilustración 19: Pantalla de selección de mantenimiento manual.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 20. Pantalla de avería y parada de seguridad</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 21: Pantalla de aviso de mantenimiento requerido.....</i>	<i>77</i>

Índice de tablas

Tabla 1: Coste de inversión y Montaje.....	38
Tabla 2: Coste mantenimiento preventivo.....	39
Tabla 3: Resumen costes anuales de reposición.....	40
Tabla 4: Resumen costes anuales energéticos.....	41
Tabla 5: Resumen Costes de operación por escenario.....	42
Tabla 6: Ingresos acumulados por reutilización de agua (horizonte 10 años)	44
Tabla 7: Ingresos asociados al tratamiento indirecto del agua Elaboración Propia	45
Tabla 8: Flujo de caja en Operación continua.....	47
Tabla 9: Resultados de rentabilidad Escenario de continuidad operativa.....	48
Tabla 10: Flujo de Caja A 3 turnos	49
Tabla 11: Resultados de rentabilidad Escenario de 3 turnos.....	49
Tabla 12: Flujo de Caja a 2 turnos.....	51
Tabla 13: Resultados de rentabilidad Escenario de 2 turnos.....	51
Tabla 14: Estimación geométrica de los equipos de la estación de tratamiento.....	68
Tabla 15: Principales señales de entrada, señales lógicas y salidas del sistema de control.....	72
Tabla 16: Análisis FMEA del sistema de tratamiento de agua	86
Tabla 17: Síntesis del cumplimiento de objetivos del sistema diseñado	91

Índice de ecuaciones

Ecuación 1: Interés Compuesto.....	43
Ecuación 2: Payback.....	46
Ecuación 3: ROI	46
Ecuación 4: Número de prioridad de riesgo.....	78

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La realización de este proyecto responde a una necesidad real y creciente del sector industrial; gestionar de forma eficiente y segura el uso del agua en los procesos auxiliares de producción. Las plantas industriales, especialmente en el sector alimentario, requieren soluciones técnicas que garanticen la calidad del agua sin comprometer la continuidad operativa ni incrementar de forma significativa los costes, en línea con los criterios de seguridad sanitaria, establecidos en el Reglamento de reutilización del agua aprobado por el Real Decreto 1085/2024.

Además del contexto normativo cada vez más exigente, existe una motivación ambiental clara: reducir el consumo de agua potable, optimizar los recursos disponibles y minimizar el impacto de los vertidos. Todo ello debe lograrse mediante sistemas que sean viables, compactos, automatizados que sean fácilmente mantenibles, sobre todo en las instalaciones industriales donde el espacio, el tiempo de parada y los recursos técnicos son limitados y afectan a la productividad y rentabilidad del proceso.

Desde una perspectiva académica y profesional, el proyecto representa una oportunidad para aplicar conocimientos técnicos en un caso real, integrando diseño de procesos, selección de componentes reales de mercado, análisis de costes, automatización industrial y evaluación de riesgos a través de un FMEA. En definitiva, permite abordar el diseño de un sistema completo de tratamiento de agua con un enfoque práctico y aplicable en el mundo real.

Desde el punto de vista personal, la motivación el desarrollo de este proyecto surge durante la etapa de formación en el grado de Ingeniería Industrial, y en particular a partir de la asignatura de ingeniería medioambiental, que se centró en el estudio de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y las Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP). En dicha asignatura se abordaron de manera conjunta los fundamentos teóricos del

INTRODUCCIÓN

tratamiento del agua y su aplicación práctica, analizando las distintas etapas de los procesos, su funcionamiento real y las limitaciones técnicas asociadas a su implantación. Este enfoque me permitió comprender el papel clave que desempeñan los sistemas de tratamiento de agua en la sostenibilidad ambiental y en la operativa industrial, despertándome un especial interés por el diseño de soluciones técnicas que, más allá del marco teórico, resulten viables, eficientes y aplicables en contextos reales. Por otro lado, la asignatura de Automatización, cursada en primero de Máster, supuso inicialmente un reto significativo. Sin embargo, a medida que avanzaba en la asignatura, fui adquiriendo mayor interés por los conceptos abordados, especialmente el uso de la lógica a la hora de diseñar un sistema automatizado, lo que me ha permitido en este Trabajo de Fin de Máster volver a aplicarlos de forma práctica. Cuando descubrí este tema de Trabajo de Fin de Máster, encontré el encaje perfecto para combinar lo aprendido de forma teórica con la oportunidad de aplicarlo a un proyecto tangible. A partir de la base formativa adquirida en la universidad, el presente proyecto pretende trasladar ese conocimiento a un caso práctico concreto, integrando criterios técnicos, normativos y operativos en el diseño de un sistema de reutilización de agua industrial con un enfoque claramente orientado a la realidad de planta.

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

El presente capítulo tiene como objetivo describir las principales tecnologías, equipos seleccionados y etapas de tratamiento consideradas en el desarrollo del sistema de reutilización de agua industrial propuesto. La descripción de estas tecnologías resulta necesaria para facilitar la comprensión del diseño adoptado, así como para justificar la selección de los distintos procesos que integran la línea de tratamiento.

A diferencia de tecnologías o herramientas ampliamente conocidas, este capítulo se centra en aquellas soluciones específicas que constituyen el núcleo del sistema, tales como la separación de grasas y sólidos, la filtración de impurezas, la desinfección mediante radiación ultravioleta, la eliminación de cloro residual y el ajuste de los parámetros fisicoquímicos del agua. Para cada una de estas etapas se describirá su principio de funcionamiento, su papel dentro del proceso global y los criterios técnicos que han motivado la posterior selección y dimensionado de los equipos de la estación de filtrado.

2.1 VISIÓN DE CLIENTE Y REQUISITOS FUNCIONALES

El presente proyecto se desarrolla en respuesta a las necesidades planteadas por una empresa del sector alimentario dedicada a la producción de derivados lácteos, que ha identificado la conveniencia de optimizar la gestión del agua empleada en procesos auxiliares de su planta industrial. En particular, el cliente requiere una solución para el tratamiento del agua de enfriamiento que circula por la cadena de transporte, con el objetivo de eliminar residuos, mejorar la higiene del entorno productivo y proteger los equipos asociados al proceso.

Desde el punto de vista operativo, la empresa demanda una solución plenamente compatible con el existente funcionamiento de la instalación, de modo que el sistema de tratamiento no interfiera con el proceso productivo principal ni comprometa la continuidad de la producción. En línea con la solicitud del cliente, se prioriza un diseño compacto de mínimo impacto visual, que permita su integración en el entorno industrial sin necesidad de

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

modificaciones significativas en la planta. Asimismo, se valora especialmente que el sistema resulte silencioso durante su funcionamiento y que presente un diseño cuidado, acorde con los estándares de una instalación alimentaria moderna.

En relación con los criterios de diseño y fabricación, el cliente establece como requisito fundamental el empleo de componentes estándar disponibles en el mercado. De esta manera, se ven facilitadas la fabricación, el transporte, la instalación y la sustitución de equipos en caso de rotura o fallo a lo largo de la vida útil del sistema. La solución deberá ser modular y escalable, para que permita la incorporación futura de nuevas funcionalidades, y la ampliación de la capacidad de tratamiento en función de la evolución de las necesidades de la planta. Del mismo modo, se requiere que el conjunto sea transportable y fácilmente reubicable en caso de cambios en la distribución de la instalación.

Desde el punto de vista del control y la integración con el proceso principal, la empresa exige la incorporación de sistemas de autocontrol y monitorización que permitan detectar de forma automática averías, la pérdida de rendimiento de los equipos o desviaciones en los parámetros de operación. Estos sistemas deberán generar avisos y alarmas que faciliten una actuación temprana por parte del personal de mantenimiento, en línea con un enfoque de análisis de modos y efectos de fallo (FMEA), orientado a incrementar la fiabilidad del sistema y reducir paradas no programadas. Se considera también imprescindible que el sistema pueda integrarse con el entorno de control del proceso principal.

Finalmente, el cliente establece como criterios clave la reducción del coste de construcción y del coste operativo del sistema, aspectos que serán evaluados mediante una estimación económica. Se busca una solución fácil de operar y mantener, que minimice la necesidad de intervención especializada y reduzca los tiempos de parada. Desde una perspectiva ambiental, el sistema deberá minimizar que los residuos generados y que estos se ajusten a las categorías contempladas en la Lista Europea de Residuos (LER) y puedan gestionarse de forma adecuada.

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En definitiva, de acuerdo con la visión y necesidades planteadas por ESDI, el sistema de tratamiento de agua deberá cumplir los siguientes requisitos funcionales y especificaciones de diseño:

- Tratamiento del agua de enfriamiento de la cadena de transporte, priorizando la eliminación de residuos y la protección de los equipos asociados al proceso.
- Compatibilidad total con la operativa del proceso productivo principal, sin interferencias en la continuidad de la producción.
- Diseño compacto, de reducido tamaño y mínimo impacto visual, adecuado para su integración en un entorno industrial alimentario.
- Funcionamiento silencioso, compatible con las condiciones de trabajo de la planta.
- Uso de componentes estándar disponibles en el mercado, que faciliten la fabricación, el transporte, la instalación y la disponibilidad de repuestos.
- Arquitectura modular y escalable, que permita la incorporación de nuevas funcionalidades (por ejemplo, desinfección química) y la ampliación futura de la capacidad de tratamiento.
- Sistema transportable y fácilmente reubicable dentro de la instalación.
- Integración de sistemas de autocontrol y monitorización, con generación de avisos y alarmas ante la saturación de filtros, pérdida de rendimiento o desviaciones de parámetros, en línea con un enfoque FMEA.
- Capacidad de conectividad con el entorno de control del proceso principal.
- Bajo coste de construcción, evaluado mediante una estimación económica del sistema.
- Bajo coste operativo, asociado a un consumo energético reducido y a una minimización de consumibles.
- Sistema fácil de operar y mantener, que no requiera personal altamente especializado.
- Ausencia de generación de residuos adicionales no útiles, de manera que los residuos producidos se ajusten a la Lista Europea de Residuos (LER).
- Temperatura de funcionamiento: 4 - 25 °C
- Presión de funcionamiento: 1,2 - 6 bar

- Caudal: 200-340 l/h
- Dureza del agua: 90-180 mg/L

2.2 CRITERIOS DE CALIDAD DEL AGUA

El diseño del sistema de tratamiento de agua desarrollado en este proyecto se fundamenta en el cumplimiento de la normativa vigente aplicable tanto a la reutilización del agua como a su uso en instalaciones de la industria alimentaria. En este contexto, se han considerado como marcos normativos de referencia el Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua, y el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, relativo a los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo.

El Real Decreto 1085/2024 establece distintas categorías de calidad del agua regenerada en función del uso previsto dentro del ámbito de la empresa alimentaria. En dicho reglamento se definen las calidades Ia. A+, Ia. A e Ia. B o Ia. C. La calidad Ia. A+ corresponde a aguas destinadas a la limpieza de materias primas y de superficies, materiales y objetos que puedan estar en contacto con los alimentos, estableciéndose además que en la empresa alimentaria esta calidad deberá cumplir con lo dispuesto en el artículo 65 del Real Decreto 3/2023. La calidad Ia. A se aplica a aguas de limpieza distintas de aquellas utilizadas sobre superficies, materiales y objetos en contacto con los alimentos, siempre y cuando no supongan una fuente de contaminación para estos. Por su parte, las calidades Ia. B o Ia. C se asocian a aguas de proceso empleadas durante la fabricación de los alimentos, con fines de refrigeración o producción de vapor o agua caliente en circuito cerrado, siempre que no entren en contacto directo con el producto alimentario (p. 36).

En el caso del presente proyecto, el uso previsto del agua tratada se limita a la refrigeración de las cintas transportadoras y a la limpieza del entorno industrial en una fábrica de productos lácteos sin contacto directo con el alimento. Desde un punto de vista normativo este uso podría encuadrarse dentro de la calidad Ia. A o incluso Ia. B, sin embargo, se adopta como criterio de diseño la calidad Ia. A+ con el objetivo de incrementar el margen de seguridad

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

sanitario, mejorar la robustez del sistema frente a variaciones en la calidad del agua de entrada y permitir una mayor flexibilidad ante posibles usos futuros de la estación de filtrado.

De acuerdo con el **Real Decreto 3/2023 del 10 de enero**, el cumplimiento de los requisitos de calidad del agua Ia. A+, implica el respeto de una serie de límites microbiológicos y fisicoquímicos orientados a maximizar el nivel de protección sanitaria. En lo relativo a los **parámetros microbiológicos**, el anexo correspondiente del Real Decreto establece como valores de referencia la ausencia de *Escherichia coli*, enterococos intestinales y *Clostridium perfringens*, así como un valor máximo admisible de *Legionella spp.* de 100 UFC/L (España, 2023, p. 52). Si bien estos parámetros no se monitorizan en tiempo real en el sistema propuesto, su cumplimiento queda cubierto mediante el diseño de la línea de tratamiento; en particular a través de la etapa de desinfección mediante radiación ultravioleta, cuyas especificaciones técnicas se encuentran en el Anexo II.

Los parámetros químicos no objeto de tratamiento específico se consideran controlados por la calidad del agua de suministro de red, conforme a la normativa vigente, no siendo necesario su tratamiento adicional en el sistema propuesto. Por otro lado, el sistema no altera la composición química del agua de forma significativa, de manera que los parámetros quedan dentro de los rangos establecidos por la norma aplicable al venir de la red municipal.

Desde el punto de vista operativo, el sistema incorpora la monitorización en continuo de aquellos parámetros fisicoquímicos considerados críticos tanto por la normativa como las especificaciones de diseño. En concreto, por especificaciones de diseño, se controlan en tiempo real la **temperatura (4-25 °C)**, el **caudal** de operación, comprendido entre 200 y 340 L/h, la **turbidez**, y la presión (1,2-6 bar). Adicionalmente, también se miden el **pH**, la **conductividad** y el **cloro residual** libre. Para estos parámetros se emplean los valores de referencia del Real Decreto 3/2023, el cual establece como límites una turbidez máxima de 4,0 UNF (Unidad Nefelométrica de Turbidez), un intervalo de pH comprendido entre 6,5 y 9,5, una conductividad inferior a 2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 20 °C y una concentración máxima de cloro residual libre de 1,0 mg/L (España, 2023, p. 55). De esta manera, el control continuo de estos parámetros permite verificar el correcto funcionamiento de las distintas etapas de tratamiento

y constituye la base del sistema de l autocontrol, alarmas y registro automático de datos en el punto Sistema de cumplimiento.

Además de los parámetros de calidad del agua definidos por la normativa, el sistema incorpora una serie de variables de control orientadas a la correcta operación de las distintas etapas de tratamiento y a proteger los equipos frente a condiciones de funcionamiento desfavorables. En particular, se contempla la medición de la presión diferencial en los elementos de filtración como indicador del grado de saturación de los filtros, permitiendo detectar pérdidas de carga anómalas y activar estrategias de mantenimiento preventivo, así como averías del sistema. Asimismo, en la etapa de desinfección mediante radiación ultravioleta se considera la monitorización de la intensidad UV suministrada, con el objetivo de detectar la degradación del rendimiento del reactor y asegurar que se mantiene la dosis necesaria para el control microbiológico.

2.3 DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS DEL TRATAMIENTO

La selección de las tecnologías que conforman la línea de tratamiento propuesta en este Trabajo Fin de Máster se ha basado en el esquema general de potabilización de agua para consumo humano, que establece una secuencia lógica y progresiva de etapas orientadas a la eliminación de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos. En particular, se toma como referencia el planteamiento clásico que comienza con un pretratamiento de sedimentación, coagulación–floculación–decantación, continúa con una filtración más fina y termina con la desinfección de contaminantes junto con un posterior control de calidad (Cledera Castro et al., s. f.)

2.3.1 SEPARACIÓN DE GRASAS Y SÓLIDOS FLOTANTES

La separación de grasas y sólidos flotantes constituyen habitualmente las primeras etapas en los sistemas de tratamiento de aguas. Su función principal es la eliminación de aceites, grasas y materiales de baja densidad presentes en el agua, que tienden a flotar y pueden generar problemas operativos si no se retiran adecuadamente en las etapas iniciales del proceso.

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

En entornos industriales, y en particular en instalaciones de la industria alimentaria, la presencia de grasas y aceites en corrientes de agua auxiliares puede deberse tanto a arrastres del propio proceso productivo como a operaciones de limpieza del entorno. Su comportamiento es distinto al de los sólidos minerales, ya que no sedimentan fácilmente y pueden acumularse en la superficie de los equipos, favoreciendo fenómenos de ensuciamiento, obstrucción y degradación del rendimiento de los sistemas situados aguas abajo.

Desde el punto de vista del funcionamiento del sistema, la incorporación de una etapa específica de separación de grasas permite proteger las unidades de filtración y desinfección posteriores, reduciendo el riesgo de colmatación prematura de los filtros y evita la formación de películas superficiales que puedan interferir en la transmisión de la radiación ultravioleta. De este modo, esta etapa actúa como una barrera inicial que contribuye a estabilizar la operación del sistema y a prolongar la vida útil de los equipos.

Los sistemas de separación de grasas se basan generalmente en principios físicos, como la diferencia de densidades entre el agua y los contaminantes flotantes (aceites), pudiendo incorporar dispositivos de retención, cámaras de separación o elementos coalescentes que facilitan la aglomeración y posterior retirada de las grasas. Estas tecnologías presentan la ventaja de no requerir el uso de reactivos químicos y de generar residuos fácilmente gestionables, lo que las convierte en una solución adecuada como etapa de pretratamiento en sistemas compactos de reutilización de agua.

2.3.2 FILTRACIÓN DE SÓLIDOS GRUESOS

La filtración de sólidos gruesos constituye una operación unitaria de separación sólido-fluido fundamental en las etapas iniciales de los sistemas de tratamiento de agua. Este proceso se basa en el paso forzado de una suspensión a través de un medio filtrante poroso, que retiene las partículas sólidas mientras permite el paso del fluido, siendo necesario para ello la aplicación de un gradiente de presión que actúa como fuerza impulsora del proceso (Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, 2019). Desde un punto de vista operativo, la filtración puede clasificarse en filtración con formación de torta, filtración sin formación

de torta y filtración profunda, dependiendo del mecanismo de retención de las partículas y de las características del medio filtrante, siendo esta última especialmente habitual en aplicaciones de clarificación de corrientes con baja concentración de sólidos.

En los sistemas de tratamiento de agua, la eliminación de sólidos gruesos y partículas en suspensión mediante procesos físicos resulta esencial para proteger las etapas posteriores de afino y desinfección, evitando fenómenos de colmatación prematura y pérdidas de rendimiento. En este sentido, la literatura técnica establece una relación directa entre el tipo de contaminante presente y la operación unitaria más adecuada, asignando a los sólidos gruesos operaciones de desbaste o filtración primaria, y a los sólidos en suspensión procesos de filtración propiamente dichos (Romero, s. f.). Esta secuencia de tratamiento permite reducir progresivamente la carga sólida del agua y estabilizar las condiciones de operación del sistema global.

La eficacia de la filtración de sólidos gruesos está condicionada por diversos factores de diseño y operación, entre los que destacan el material del medio filtrante, la velocidad de filtración, la concentración de sólidos en suspensión y las características físicas y químicas de las partículas, como su tamaño, densidad y dureza, así como por las propiedades del fluido, en particular la temperatura (Ordóñez Maldonado & Pesantez Márquez, 2017). Por ello, la correcta selección y dimensionamiento de esta etapa resulta clave para la eliminación eficaz de partículas de mayor tamaño y asegurar el funcionamiento estable y eficiente de las unidades de filtración fina, adsorción con carbón activo y desinfección situadas aguas abajo.

2.3.3 FILTRACIÓN DE GRASAS

La separación de grasas constituye una etapa clave dentro del pretratamiento de aguas residuales industriales, especialmente en instalaciones del sector alimentario, donde la presencia de aceites y grasas puede comprometer el funcionamiento de las unidades de tratamiento posteriores. Las trampas de grasa son estructuras hidráulicas diseñadas para separar grasas y materiales flotantes del agua residual mediante el principio de diferencia de densidades, aprovechando que estos compuestos presentan un peso específico inferior al del

agua y tienden a flotar en su superficie (Alvarado Granados & Ramos Villanueva, 2010, pp. 32–33).

El funcionamiento de estos dispositivos se basa en la reducción de la velocidad del flujo y en la configuración hidráulica de la entrada y salida, de modo que el agua ingresa por la parte inferior y se evacúa por un punto superior, favoreciendo el desarrollo de un efecto sifón que limita el arrastre de grasas hacia la descarga. Las grasas separadas se acumulan en la zona superior del equipo, al tener menor densidad, y pueden ser retiradas periódicamente, mientras que el agua libre de grasas continúa hacia las etapas posteriores del sistema de tratamiento (Alvarado Granados & Ramos Villanueva, 2010, pp. 33–34).

Diversos autores señalan que la eficacia de la separación por gravedad depende sobre todo del tiempo de retención hidráulica, así como de la minimización de turbulencias internas mediante el uso de cortinas interceptoras en la entrada del flujo. Para unidades de pequeño y mediano caudal, se recomiendan tiempos de retención del orden de varios minutos, suficientes para permitir la flotación de grasas y aceites con densidades típicas en torno a 0,8 kg/L (Alvarado Granados & Ramos Villanueva, 2010, pp. 64–67).

Asimismo, el uso de trampas de grasa homologadas resulta habitual en instalaciones industriales y comerciales con elevadas cargas de diferentes aceites y grasas, como fábricas alimentarias, restaurantes o instalaciones de procesado de aceites. Estos equipos pueden instalarse enterrados o a nivel de superficie, siempre que se garantice un acceso adecuado para su inspección y mantenimiento, condición imprescindible para asegurar su correcto desempeño operativo a lo largo del tiempo (Alvarado Granados & Ramos Villanueva, 2010, pp. 66–74).

2.3.4 FILTRACIÓN DE AFINO (RETENCIÓN DE PARTÍCULAS FINAS Y COLOIDES)

Una vez abordadas las etapas iniciales de separación de sólidos gruesos y de grasas, resulta necesario incorporar una etapa adicional de filtración más específica de partículas de menor tamaño y coloides remanentes. Esta fase de afino permite reducir de forma significativa la

turbidez del agua y eliminar una fracción relevante de los virus y bacterias asociados a dichas partículas.

En los esquemas estándar de potabilización de agua para consumo humano, la filtración se realiza mediante el paso del agua a través de un medio poroso, que es capaz de retener los microorganismos en suspensión y partículas adheridas. Habitualmente, este proceso se lleva a cabo mediante filtros rápidos, con velocidades de filtración comprendidas entre 5 y 20 m/h normalmente, y con operaciones periódicas de limpieza mediante agitación del lecho y lavado a contracorriente, que permiten mantener su eficacia operativa (Dyna, 2009) y eliminar en torno al 65% de los patógenos contenidos en el agua.

Entre los tipos más comunes de filtros rápidos se encuentran los filtros por gravedad, los filtros a presión, los filtros de flujo ascendente y los filtros de medios múltiples, que pueden configurarse combinando materiales como arena, antracita o granate en función de los objetivos de tratamiento y de las características del agua a tratar (Dyna, 2009).

En el presente proyecto, esta etapa de filtración se plantea como un proceso de afino previo a la desinfección por radiación ultravioleta, para reducir la presencia de partículas y a su vez, implementar una adecuada transmisión de la radiación, condición indispensable para asegurar la calidad del agua después del proceso de desinfección.

2.3.5 DESINFECCIÓN POR RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

La desinfección mediante radiación ultravioleta constituye una tecnología ampliamente utilizada en el tratamiento de agua para la inactivación de microorganismos patógenos, especialmente en aplicaciones industriales y de reutilización. Su principio de funcionamiento se basa en la exposición del agua a radiación UV, generalmente en el rango de longitudes de onda cercano a los 254 nm, (Cledera Castro et al., s. f., p.22), que resulta letal en bacterias y virus, al provocar daños en el material genético e impedir su replicación.

En el ámbito de la industria alimentaria, la radiación ultravioleta se considera una tecnología de desinfección especialmente adecuada debido a que no requiere la adición de productos

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

químicos, no genera subproductos de desinfección y permite una actuación rápida sobre un amplio espectro de microorganismos. Estas características la convierten en una solución compatible con procesos sensibles desde el punto de vista higiénico-sanitario y con elevados requisitos de calidad del agua.

Desde el punto de vista microbiológico, diversos estudios han demostrado que la desinfección mediante radiación ultravioleta permite una inactivación eficaz de bacterias, virus y otros microorganismos patógenos sin generar subproductos de desinfección problemáticos, a diferencia de los procesos químicos tradicionales. En particular, se ha documentado que la radiación UV a longitudes de onda próximas a 254 nm provoca daños fotoquímicos en los ácidos nucleicos, impidiendo la replicación de los microorganismos y garantizando elevados niveles de seguridad microbiológica en animales superiores (Wright & Cairns, s.f.). Entre otras ventajas, se encuentra que la radiación UV es fácilmente medible y actúa eficazmente en tiempo pequeños. No obstante, no hay que dejar de lado que la eficacia del proceso está también condicionada por la calidad del agua de entrada, ya que la presencia de sólidos en suspensión y una elevada turbidez pueden reducir la transmitancia de la radiación ultravioleta y disminuir la dosis efectiva recibida por los microorganismos. Por ello, factores como la concentración de sólidos en suspensión, el contenido de materia orgánica disuelta, la dureza del agua, la transmisión del UV, el estado y el tiempo de uso de la lámpara, así como la velocidad de paso del agua y el diseño del reactor, influyen de forma directa el proceso (Pietrobon Tarrán, 2002, p. 4). Por este motivo, la integración de etapas previas de tratamiento del agua, en particular la separación de sólidos y la filtración, resulta esencial para un funcionamiento adecuado y estable del reactor UV.

2.3.6 ELIMINACIÓN DEL CLORO RESIDUAL

En instalaciones de la industria alimentaria, la presencia de cloro residual puede provocar efectos adversos sobre materiales, componentes del sistema y procesos auxiliares, además de interferir en etapas de tratamiento posteriores. El cloro es un agente oxidante que, en contacto con la materia orgánica natural presente en el agua, puede dar lugar a la formación de subproductos de la desinfección, como los trihalometanos y otros compuestos

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

halogenados (Olmedo Sánchez, 2008), cuya generación se ve favorecida por el tiempo de contacto con materia orgánica y la concentración de cloro residual libre (Rodríguez et al., 2007).

Diversos estudios señalan que estos subproductos no deseados son difíciles de eliminar una vez formados, por lo que resulta fundamental adoptar estrategias orientadas a prevenir su aparición durante el tratamiento del agua. En este sentido, la reducción del cloro residual y en etapas sensibles del proceso contribuyen a minimizar el potencial de formación de dichos compuestos y en consecuencia, a mejorar la seguridad del sistema de tratamiento (Olmedo Sánchez, 2008).

Otra desventaja de la persistencia de cloro residual es que puede afectar al rendimiento de sistemas de desinfección alternativos, como la radiación ultravioleta, y acelerar procesos de degradación o corrosión en determinados materiales y conducciones, por lo que su reducción o eliminación a tiempo es esencial para la fiabilidad operativa del sistema.

La eliminación de cloro residual se realiza habitualmente mediante procesos de adsorción, siendo el carbón activo uno de los materiales más empleados para este fin. La adsorción sobre carbón activo permite reducir de forma significativa la presencia de compuestos oxidantes y de materia orgánica precursora de subproductos de la desinfección, disminuyendo así el potencial de formación de dichos compuestos sin necesidad de adición de reactivos químicos adicionales (Rodríguez et al., 2007).

Desde el punto de vista del diseño del sistema, la incorporación de una etapa específica de eliminación de cloro residual mediante carbón activo protege los equipos aguas abajo y contribuye a minimizar la formación de subproductos indeseados asociados a procesos de oxidación (Cledera Castro et al., s. f.).

En consecuencia, volviendo a las opciones de desinfección, estos aspectos refuerzan la decisión de seleccionar la radiación ultravioleta como etapa principal del sistema, frente al uso de cloro como desinfectante final, ya que no conlleva la formación de subproductos

químicos indeseados asociados a la cloración y facilita que el cloro residual, sea eliminado mediante carbón activo.

2.3.7 MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS

La integración de sensores permite realizar un seguimiento continuo del estado del agua tratada y del funcionamiento de las distintas etapas del proceso, facilitando la detección temprana de desviaciones y la toma de decisiones operativas.

En el contexto de los sistemas compactos de reutilización de agua, la instrumentación se orienta principalmente a la medición de parámetros fisicoquímicos críticos, tales como el caudal, la turbidez, el pH, la conductividad, el cloro residual libre y la temperatura. El control de estos parámetros permite verificar el correcto desempeño de las etapas de separación, filtración, eliminación de cloro y desinfección, así como asegurar que el agua tratada se mantiene dentro de los rangos de calidad establecidos.

Entre los parámetros recién descritos, la turbidez constituye un indicador especialmente relevante, ya que está directamente asociada a la presencia de sólidos en suspensión y coloides en el agua, los cuales interfieren tanto en procesos de filtración como en la eficacia de la desinfección. Su medición se basa en la dispersión de un haz de luz al atravesar el agua. Asimismo, parámetros como el pH y la conductividad permiten caracterizar el estado químico global del agua, al influir en los equilibrios de las sustancias disueltas y reflejar la presencia de sales, mientras que la temperatura condiciona numerosos procesos fisicoquímicos y la solubilidad de los gases en el medio acuoso (Domínguez et al., 2020, pp. 29–31).

La monitorización continua de estos parámetros se apoya en sistemas de control industrial basados en autómatas programables (PLC). De acuerdo con la norma IEC 61131-1, un PLC se define como un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para usos industriales, que emplea una memoria programable para la implementación de funciones de control lógico, secuencial, de temporización, conteo y cálculo aritmético, permitiendo el

DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

control de procesos mediante señales de entrada y salida de tipo digital o analógico (Rodríguez Mondéjar, 2024).

En el presente sistema, el PLC será el elemento encargado de la adquisición y tratamiento de las señales procedentes de los sensores instalados, integrando dicha información en un sistema SCADA para su visualización e interacción entre el operario y el sistema en tiempo real, registro histórico y gestión de alarmas ante desviaciones de los valores de consigna establecidos. De esta manera se mejora la supervisión del proceso por parte del personal de operación, la trazabilidad y contribuye al cumplimiento de los requisitos de autocontrol exigidos en instalaciones industriales.

En conjunto, las tecnologías descritas en este capítulo constituyen la base técnica del sistema de tratamiento desarrollado, proporcionando los fundamentos necesarios para el análisis, diseño e implementación que se abordan en los capítulos posteriores.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

El acceso al agua segura y a sistemas adecuados de saneamiento constituye uno de los principales retos globales en relación con la salud pública, sostenibilidad ambiental y desarrollo socioeconómico. Según la Organización Mundial de la Salud, en 2020 el 44 % de las aguas residuales domésticas generadas a nivel mundial se vertieron sin ser tratadas de forma segura, lo que demuestra la existencia del problema asociado a la gestión inadecuada de los recursos hídricos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2024). Consecuentemente, se incrementa la contaminación de aguas superficiales y subterráneas, que a su vez, limita la disponibilidad de recursos hídricos de calidad para usos productivos. En este contexto, la OMS destaca el papel estratégico de la reutilización segura de aguas residuales como elemento clave de la economía circular, siempre que se disponga de tratamientos adecuados, controles de calidad y marcos regulatorios que minimicen los riesgos sanitarios y ambientales. En línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, concretamente el objetivo 6 (agua limpia y saneamiento), subraya la necesidad de reducir de forma significativa el volumen de aguas residuales sin tratar e incrementar su reciclado y reutilización sin riesgos, reforzando así la importancia de desarrollar soluciones de tratamiento eficaces, seguras y adaptadas a los distintos usos industriales y urbanos.

La reutilización del agua se consolida en el marco normativo español como un elemento estratégico dentro de la gestión integrada de los recursos hídricos, al permitir sustituir recursos naturales en riesgo por aguas regeneradas procedentes de procesos de tratamiento avanzados. El Reglamento de reutilización del agua, aprobado por el Real Decreto 1085/2024, establece que la reutilización debe contribuir tanto a la protección del dominio público hidráulico como al cumplimiento de los objetivos medioambientales, a la adaptación al cambio climático y a la promoción de la economía circular, buscando en todo momento un nivel elevado de protección de la salud humana y del medio ambiente. En este contexto, el reglamento refuerza la necesidad de sistemas de tratamiento capaces de asegurar una calidad del agua adecuada al uso industrial previsto, integrando procesos de regeneración,

control de calidad y gestión del riesgo (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2020).

En relación con las tecnologías de desinfección aplicables a la reutilización de agua, la desinfección mediante radiación ultravioleta se considera una herramienta que contribuye a una estrategia integral de tratamiento. De acuerdo con el *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual*, proporciona un método rentable para la eliminación de los patógenos más resistentes a los métodos tradicionales de desinfección (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2006, p. 80). Sin embargo, la eficacia del proceso está condicionada por la calidad del agua, ya que la presencia de partículas puede disminuir la cantidad de luz UV que llega a los microorganismos del agua y afectar a la dosis efectiva suministrada (p. 97). En este sentido, los microorganismos pueden asociarse a partículas en suspensión y quedar protegidos frente a la radiación ultravioleta, reduciendo la efectividad del proceso de inactivación (p. 97). Por este motivo, resulta fundamental la adecuada integración de tratamientos anteriores a este proceso, dado que los procesos situados aguas arriba de los reactores UV pueden operarse para maximizar la transmitancia ultravioleta, optimizando así el diseño y los costes de los equipos de desinfección. Con ello, las etapas previas recomendables que se contemplan para el presente Proyecto son la filtración de sólidos gruesos y la sedimentación, ya que permiten eliminar material soluble, y mejoran el rendimiento global del sistema de desinfección (p. 81).

Concluyendo con el papel de la desinfección mediante radiación ultravioleta, de acuerdo con la Comisión Europea, se trata de una de las tecnologías más fiables y sostenibles para la reutilización del agua, al no generar subproductos ni requerir el uso de reactivos químicos. El Reglamento (UE) 2020/741 respalda su idoneidad en instalaciones descentralizadas y su capacidad para cumplir límites estrictos de *E. coli* en aplicaciones industriales. (Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea, 2020).

En sistemas compactos de tratamiento de agua, la filtración mediante cartuchos constituye una tecnología ampliamente utilizada para la reducción de sólidos en suspensión y turbidez, especialmente como etapa de pretratamiento destinada a proteger los procesos posteriores.

El *Water Treatment Manual: Filtration* describe los filtros de cartucho como dispositivos de separación accionados por presión que eliminan partículas mediante medios filtrantes porosos, reteniendo los sólidos tanto en la superficie como en la estructura interna del material filtrante, lo que conlleva una acumulación progresiva de partículas y un incremento de la pérdida de carga. Asimismo, el documento señala que estos sistemas son especialmente adecuados para instalaciones de pequeño y mediano tamaño y que, cuando la calidad del agua de entrada es inferior, pueden disponerse varias etapas de filtración en serie con diferentes tamaños de poro, de modo que una primera etapa de poro más grueso retiene las partículas de mayor tamaño y una segunda etapa de poro más fino mejora la eliminación de partículas pequeñas. Desde el punto de vista del diseño y la operación, el manual subraya la importancia de controlar la presión de alimentación, evitar cambios bruscos de caudal y operar alejados del caudal máximo nominal, ya que la operación prolongada en estas condiciones acelera la colmatación del medio filtrante. Entre las ventajas que presentan, estos filtros requieren de bajo mantenimiento, ya que solo hay que cambiarlos al fin de su vida útil, que se da cuando estos colmatan. Igualmente, se destaca que la calidad del agua de entrada y la continuidad de operación influyen de forma directa en la vida útil de los cartuchos, recomendándose configuraciones con capacidad redundante y una selección adecuada del tipo de cartucho (nominal o absoluto) para asegurar una reducción eficaz y estable de la turbidez en aplicaciones industriales y de reutilización de agua (Environmental Protection Agency, 2022, pp. 86–89).

En los sistemas de tratamiento de agua, la eliminación de contaminantes físicos se basa en distintos mecanismos como la sedimentación, la adsorción y la retención mecánica, cuya eficacia depende de la naturaleza de la suspensión presente en el agua bruta (TDEC – Fleming Training Center, 201, p. 190). En este sentido, las grasas y aceites constituyen una fracción contaminante con un comportamiento diferenciado respecto a los sólidos minerales, requiriendo etapas específicas de separación física previas al tratamiento principal. El propio funcionamiento de las unidades de tratamiento se ve condicionado por la presencia de sólidos en suspensión, que pueden generar problemas operativos y reducir el rendimiento global del sistema si no son eliminados adecuadamente en las primeras etapas (TDEC – Fleming

Training Center, 201, p. 174). Por ello, la incorporación de separadores de grasas y sólidos sedimentables como barrera inicial en el pretratamiento, resulta fundamental para la estabilidad operativa, proteger los equipos aguas abajo y asegurar la eficacia de la desinfección posterior.

Más allá de la selección individual de las tecnologías de tratamiento, la literatura especializada coincide en que el rendimiento global de los sistemas de reutilización de agua depende de manera crítica del orden secuencial en el que se disponen las distintas etapas del proceso. La integración adecuada de operaciones de separación física, reducción de sólidos y desinfección permite minimizar interferencias entre procesos, proteger los equipos situados aguas abajo y maximizar la eficacia de las etapas más sensibles como es la desinfección final. En particular, se destaca implementar primero barreras frente a grasas, aceites y sólidos en suspensión, con el fin de reducir el ensuciamiento y la pérdida de eficiencia de los sistemas de filtración y desinfección posteriores. Asimismo, es óptimo continuar con la eliminación de determinados compuestos, como el cloro residual, antes de la aplicación de tecnologías de desinfección avanzada, mientras que el ajuste final de parámetros de calidad permite adaptar el agua tratada a los requisitos específicos del uso industrial previsto. Este enfoque secuencial coincide con el planteamiento clásico de las etapas de potabilización descrito en el *Capítulo 2: Descripción de las tecnologías del tratamiento*, donde el sistema se estructura de forma progresiva desde operaciones de separación física inicial hasta procesos de afino y desinfección final (Cledera Castro et al., s. f.). En ambos casos, el orden de las etapas responde a una lógica de barreras sucesivas, orientadas a la eliminación gradual de los contaminantes y a la protección de las unidades más sensibles del sistema. De este modo, la propuesta de este Trabajo Fin de Máster no constituye una secuencia arbitraria de tecnologías, sino una adaptación coherente del esquema tradicional a un sistema compacto de reutilización industrial cuya eficacia no depende únicamente de las tecnologías empleadas, sino de su correcta colocación dentro de la línea de proceso.

Por último, la evolución de los sistemas de reutilización de agua se orienta hacia la automatización y el control digital continuo de los parámetros de calidad, mediante la

integración de sensores de pH, conductividad, turbidez y caudal en plataformas supervisadas mediante hardware PLC y software SCADA. Este enfoque permite la detección temprana de desviaciones, la aplicación de mantenimiento predictivo y el aseguramiento del cumplimiento de los estándares de calidad exigidos. En el ámbito de la automatización industrial actual, la estructuración de los sistemas de control se apoya en metodologías formales como la guía GEMMA (Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts), que propone la organización del proceso en estados diferentes estados operativos previamente definidos: producción normal, marchas de preparación y finalización, modos de verificación, mantenimiento y gestión de fallos. Para pasar de un estado a otro, se programan condiciones lógicas de transición. En conjunto, este enfoque basado en estados favorece la coherencia del comportamiento del sistema, integrar procedimientos de parada segura y además facilita la implementación modular del control secuencial en autómatas programables (Rodríguez Mondéjar, 2024).

No obstante, a pesar de la amplia disponibilidad de tecnologías de tratamiento y reutilización de agua, la mayoría de las soluciones descritas en la literatura y en el mercado se centran en aplicaciones de mayor escala o en sistemas diseñados de forma aislada, sin una integración completa de criterios de compactación y control avanzado del proceso. En particular, se identifica una limitada disponibilidad de sistemas compactos específicamente diseñados para la reutilización de agua de refrigeración en instalaciones alimentarias, que incorporen monitorización en tiempo real, mantenimiento predictivo y cumplimiento normativo conforme al marco legal vigente en España. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de desarrollar una solución integrada que combine tecnologías contrastadas con un enfoque práctico orientado a su fabricación, escalado e integración en procesos de industrial reales.

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

A partir del análisis realizado en el capítulo anterior, se pone de manifiesto que, a pesar de la existencia de tecnologías contrastadas para el tratamiento y la reutilización del agua, la implantación en entornos industriales reales sigue siendo limitada. En muchos casos, el tratamiento del agua se percibe como un coste adicional poco rentable, especialmente en contextos como el español, donde el precio del agua de red es relativamente bajo, lo que históricamente ha reducido el incentivo para invertir en soluciones de reutilización más allá del cumplimiento mínimo normativo.

En el ámbito de la industria alimentaria, esta situación se ve reforzada por la falta de soluciones específicamente diseñadas para procesos auxiliares de bajo caudal, como los circuitos de refrigeración, donde los sistemas disponibles suelen estar orientados a grandes volúmenes o aplicaciones genéricas, dificultando su integración en instalaciones existentes y entornos productivos exigentes.

En este contexto, el objetivo de este proyecto es dar respuesta a una necesidad técnica e industrial concreta: el tratamiento y la reutilización del agua de refrigeración utilizada en las cintas transportadoras de una fábrica de productos lácteos. Se trata de un flujo de agua que, sin entrar en contacto directo con el producto, debe cumplir estrictos requisitos de calidad para favorecer la seguridad sanitaria, la protección de los equipos y el cumplimiento normativo, al tiempo que se minimiza el consumo de recursos hídricos y los costes operativos asociados.

La justificación del proyecto no se fundamenta únicamente en criterios ambientales o normativos, sino también en su viabilidad técnica, su interés económico y su potencial de aplicación industrial. Desde un punto de vista comercial, la solución propuesta responde a una demanda creciente de sistemas compactos, modulares y automatizados que permitan a

las industrias alimentarias reducir su consumo de agua, mejorar el control de sus procesos auxiliares y avanzar hacia modelos productivos más sostenibles y eficientes.

4.1.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA E INDUSTRIAL

La justificación técnica e industrial del proyecto se fundamenta en la necesidad de disponer de soluciones específicamente diseñadas para el tratamiento y la reutilización del agua en procesos auxiliares de la industria alimentaria, como los circuitos de refrigeración asociados a cintas transportadoras. Estos sistemas operan de forma continua y están sometidos a la presencia de contaminantes como grasas, sólidos en suspensión y restos orgánicos, que afectan al rendimiento del proceso y a la higiene de la instalación, así como a la vida útil de los equipos.

Como se menciona anteriormente, la mayoría de las soluciones disponibles en el mercado están orientadas a grandes instalaciones o a aplicaciones genéricas, lo que dificulta su integración en entornos productivos donde se requieren sistemas compactos, automatizados y fácilmente adaptables. En este sentido, el desarrollo de una estación integral que combine tecnologías contrastadas de tratamiento con un diseño modular permite dar respuesta a una necesidad industrial real que mejora su fiabilidad operativa y facilitando su implantación en plantas existentes.

4.1.1.1 Contribución al ODS 9: Industria, innovación e infraestructura

El proyecto contribuye de manera directa al Objetivo de Desarrollo Sostenible 9, al promover la modernización de infraestructuras industriales mediante la incorporación de tecnologías de tratamiento de agua integradas y sistemas de control avanzados. La solución propuesta introduce un enfoque innovador en la gestión de procesos auxiliares, tradicionalmente poco optimizados, mediante la aplicación de criterios de automatización, monitorización en tiempo real y mantenimiento predictivo. De este modo, se favorece el desarrollo de una industria alimentaria más resiliente, eficiente y tecnológicamente avanzada, alineada con los principios de la industria 4.0 (Pacto Mundial de las Naciones Unidas, s. f.-a).

4.1.2 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Desde una perspectiva económica, la reutilización del agua de refrigeración supone una oportunidad significativa de reducción de costes operativos en la industria alimentaria, al evitar que de manera constante se aporte agua de la red. La disminución del consumo de agua potable, junto con la reducción de los vertidos y de los costes asociados a su gestión, permite mejorar la competitividad de la instalación a medio y largo plazo.

El diseño del sistema propuesto, basado en equipos comerciales estándar y de bajo consumo energético, contribuye a minimizar tanto la inversión inicial como los costes de operación y mantenimiento. Asimismo, la incorporación de sistemas de control y alarmas permite reducir paradas no programadas, optimizar las tareas de mantenimiento y prolongar la vida útil de los componentes, impactando directamente en el coste total de propiedad del sistema.

Desde un punto de vista comercial, la solución desarrollada resulta atractiva para empresas del sector alimentario que buscan mejorar la eficiencia de sus procesos auxiliares sin asumir inversiones desproporcionadas, ofreciendo un producto replicable, escalable y adaptable a distintas capacidades de producción. Además, este tipo de instalaciones permite mejorar la imagen de las empresas, ya que se trata de un sistema en favor de la sostenibilidad y la reducción del uso de recursos.

4.1.3 JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL Y DE SOSTENIBILIDAD

La justificación ambiental del proyecto se enmarca en la necesidad de avanzar hacia un uso más eficiente y responsable de los recursos hídricos, especialmente en un contexto de creciente escasez de agua y presión sobre los sistemas de abastecimiento. La reutilización del agua de refrigeración contribuye directamente a reducir la demanda de agua potable y la generación de vertidos, alineándose con los principios de la economía circular y con los objetivos de sostenibilidad promovidos a nivel nacional e internacional.

4.1.3.1 Contribución al ODS 6: Agua limpia y saneamiento

El proyecto contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 al promover la reutilización segura y controlada del agua en un entorno industrial, mediante la aplicación

de una línea de tratamiento diseñada específicamente para maximizar la calidad del agua regenerada (Pacto Mundial de las Naciones Unidas, s. f.-b). La incorporación de etapas sucesivas de separación de grasas y sólidos, filtración progresiva y desinfección mediante radiación ultravioleta permite reducir de forma significativa los riesgos asociados a la reutilización del agua, asegurando que el efluente tratado sea apto para su uso en procesos auxiliares sin comprometer la seguridad sanitaria ni la integridad de las instalaciones.

Por otro lado, la integración de sistemas de monitorización continua de parámetros críticos como turbidez, pH, conductividad y caudal refuerza el enfoque preventivo en la gestión del agua, permitiendo detectar desviaciones en tiempo real y actuar de manera anticipada frente a posibles incidencias. Este control permanente no solo mejora la fiabilidad del proceso, sino que también contribuye a una gestión más transparente y trazable del recurso hídrico, en línea con los principios de gestión segura del agua promovidos a nivel internacional. De este modo, el proyecto reduce la dependencia de recursos hídricos convencionales y favorece una utilización más eficiente del agua en el ámbito industrial, contribuyendo a aliviar la presión sobre los sistemas de abastecimiento.

4.1.3.2 Contribución al ODS 12: Producción y consumo responsables

La solución propuesta se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 al fomentar un modelo de producción industrial basado en la optimización de recursos y la reducción de impactos ambientales asociados a los procesos auxiliares (Pacto Mundial de las Naciones Unidas, s. f.-c). La reutilización del agua de refrigeración permite disminuir de forma significativa el consumo de agua potable, así como la generación de aguas residuales, contribuyendo a una gestión más eficiente de los flujos de entrada y salida del proceso productivo.

Además, el diseño del sistema prioriza el uso de equipos de bajo consumo energético, componentes estándar y estrategias de mantenimiento predictivo, lo que favorece una utilización más racional de materiales, energía y repuestos a lo largo del ciclo de vida de la instalación. Este enfoque permite reducir la frecuencia de sustitución de componentes, minimizar residuos y optimizar las operaciones de mantenimiento, alineándose con los

principios de producción responsable. En el contexto de la industria alimentaria, estas medidas permiten avanzar hacia modelos productivos más sostenibles sin comprometer los elevados estándares de calidad, higiene y competitividad exigidos por el sector.

4.2 OBJETIVOS

El objetivo principal general de este proyecto es desarrollar una estación integral y compacta de tratamiento de agua industrial destinada a su reutilización segura, que combine tecnologías contrastadas de separación, filtración, desinfección y control, cumpliendo con la normativa vigente y optimizando tanto el rendimiento técnico como la viabilidad económica del sistema. A partir de este objetivo principal, se definen los siguientes objetivos específicos:

Objetivo 1. Garantizar a nivel de diseño, la calidad del agua tratada para su reutilización segura

Asegurar que el agua regenerada cumpla los requisitos de calidad exigidos por la normativa aplicable, mediante la implementación de una línea de tratamiento que integre de forma coherente etapas de separación de grasas y sólidos, filtración progresiva, desinfección mediante radiación ultravioleta y eliminación de cloro mediante carbón activo, incorporando un punto de cumplimiento que permita la validación de la calidad del agua y el registro automático de los parámetros críticos del proceso.

Objetivo 2. Diseñar una solución compacta, modular y escalable con componentes estándar

Definir un sistema basado en la selección de equipos comerciales disponibles en el mercado, que facilite su fabricación, permita la sustitución rápida de componentes y la ampliación futura de la capacidad de tratamiento, consiguiendo al mismo tiempo un diseño compacto, con bajo impacto visual y sonoro, y una adecuada disponibilidad de repuestos.

Objetivo 3. Implementar sistemas de autocontrol, monitorización y mantenimiento predictivo

Integrar instrumentación para la medida de caudal, pH, conductividad y turbidez, junto con una lógica de control basada en PLC y una interfaz HMI, que permita la supervisión continua del proceso, la detección temprana de desviaciones en los parámetros de calidad, la generación de alarmas ante la saturación de filtros o la pérdida de eficacia de la desinfección UV, y la ejecución de paradas seguras que reduzcan los tiempos de inactividad y aumenten la fiabilidad del sistema.

Objetivo 4. Optimizar el coste total de propiedad del sistema

Evaluar y comparar el coste total de propiedad del sistema a lo largo de un horizonte temporal de diez años, considerando los costes de inversión inicial (CAPEX), los costes de operación (OPEX) y los costes asociados al mantenimiento preventivo y correctivo. El objetivo es priorizar soluciones de bajo consumo energético y reducido coste operativo que aseguren la sostenibilidad económica del sistema a largo plazo.

Objetivo 5. Aplicar un enfoque de ciclo de vida en el diseño del sistema

Adoptar una visión integral del ciclo de vida del sistema, desde la fase de diseño y selección de componentes hasta su instalación, operación, mantenimiento y retirada, teniendo en cuenta la durabilidad de los equipos, su disponibilidad comercial, la facilidad de montaje y desmontaje y la gestión eficiente de repuestos y materiales, con el fin de facilitar la viabilidad técnica y logística de la solución desarrollada a lo largo del tiempo.

Objetivo 6. Evaluar el valor estratégico de la reutilización de agua

Analizar el potencial de la reutilización de agua como elemento de valor añadido para la empresa, considerando su posible contribución a la mejora de la sostenibilidad corporativa, al acceso a incentivos o ayudas públicas y a la adaptación a futuros requisitos regulatorios, de forma análoga a otros mecanismos ambientales ya consolidados, como los mercados de bonos de carbono, que han demostrado que la gestión ambiental puede generar

oportunidades económicas y estratégicas más allá del cumplimiento normativo (Lobos et al., 2005, p. 50).

4.3 METODOLOGÍA

Para desarrollar este proyecto, la investigación inicial sobre el marco normativo español en relación a la reutilización del agua y la calidad en sus distintas aplicaciones fue esencial para empezar a estructurar el proyecto. Por otro lado, hablar y entender las necesidades del cliente desde el comienzo fue clave para la selección de los equipos y el diseño en la automatización del mismo.

Una vez asentadas las bases del contexto industrial, la regulación normativa, los requisitos operativos de la planta y la calidad del agua que se iba a exigir a la salida del tratamiento, se procedió a definir los parámetros de diseño del sistema: caudal de operación (200–340 L/h), rangos admisibles de presión, límites de turbidez, sólidos en suspensión, conductividad, pH y concentración microbiológica. Estos parámetros sirvieron como criterio técnico para el dimensionamiento y la validación de cada una de las etapas del proceso y de los equipos que lo conforman.

Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de equipos estándar disponibles en el mercado, priorizando soluciones compactas, modulares y fácilmente mantenibles, que cumplieran con los requisitos de calidad establecidos para la aplicación industrial prevista. La selección no se basó únicamente en especificaciones técnicas, sino también en criterios de viabilidad económica, consumo energético, facilidad de integración y mantenimiento preventivo. Se fueron desarrollando distintos esquemas en los que se estructuraba el orden de las etapas y de los diferentes elementos, hasta dar lugar al esquema final, que representa la configuración más optimizada y coherente del sistema.

Una vez elegidos todos los equipos, se realizó un estudio de viabilidad económica y de rentabilidad, estableciendo un horizonte de 10 años. Para ello, se diferenciaron los costes de inversión inicial (CAPEX), asociados a la adquisición e instalación del sistema, y los costes

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

de operación y mantenimiento (OPEX), relacionados con el consumo energético, la reposición de consumibles y las tareas de mantenimiento. Para que el proyecto resultara viable, se establecieron tres posibles escenarios en los que cambiaban las condiciones del coste del agua, y se planteó una estrategia adicional de ingresos basada en la sostenibilidad ofrecida al cliente como ventaja competitiva del sistema.

En paralelo, se diseñó la arquitectura de control y supervisión del sistema, definiendo la lógica de funcionamiento en modo automático y manual, la estructura de alarmas, los niveles de acceso y los indicadores de desempeño necesarios para apoyar el cumplimiento continuo de los requisitos normativos. La definición de esta arquitectura se apoyó en la metodología GEMMA, estructurando los distintos estados de funcionamiento del sistema; producción normal, preparación, parada controlada, mantenimiento y gestión de averías. De esta forma, cada transición entre estados quedaba claramente definida y condicionada por variables de proceso y criterios de seguridad, asegurando un comportamiento predecible y seguro ante cualquier desviación.

Se prestó especial atención a la gestión de situaciones de mantenimiento y fallo, estableciendo mecanismos de detección automática de averías (por ejemplo, desviaciones en turbidez, pérdida de intensidad UV o variaciones de caudal), que activan alarmas graduadas por prioridad y, ejecutan una parada controlada del sistema conforme a los principios de seguridad industrial.

Asimismo, se diseñó la comunicación sistema–operario a través de la interfaz HMI, que permite la visualización en tiempo real de las variables críticas, el acceso diferenciado según perfil de usuario y la trazabilidad de eventos y alarmas. Esta interacción facilita por un lado la supervisión continua del proceso y el cumplimiento normativo mediante el registro y control de los parámetros exigidos.

Cabe destacar que el desarrollo del proyecto se ha apoyado de manera constante en reuniones periódicas, que han permitido contrastar las decisiones técnicas adoptadas y ajustar determinados aspectos del sistema conforme avanzaba la definición de este. Estas sesiones

resultaron clave para favorecer la coherencia global del proyecto, así como su alineación con los objetivos iniciales.

Durante la fase final, se elaboró un análisis de modos y efectos de fallo (FMEA), con el objetivo de identificar los posibles puntos críticos del sistema, evaluar su probabilidad e impacto, y definir medidas preventivas. Este análisis permitió reforzar la robustez del diseño, especialmente en lo relativo a la continuidad operativa y a la seguridad del proceso.

Finalmente, a medida que se iba avanzando, se llevó a cabo la redacción estructurada de esta memoria técnica, integrando el desarrollo normativo, el dimensionamiento de equipos, la arquitectura de control, el análisis económico y la justificación de las decisiones adoptadas, consolidando de forma ordenada todo el trabajo realizado, mientras se aseguraba la trazabilidad técnica y la coherencia metodológica del proyecto.

4.4 PLANIFICACIÓN

Con el fin de estructurar y organizar el desarrollo del proyecto de manera coherente y eficiente, se ha elaborado una planificación temporal que recoge las distintas fases necesarias para su ejecución. Esta planificación se representa mediante un diagrama de Gantt en el Gráfico 1, en el que se detallan las principales tareas del proyecto, su secuencia lógica y su distribución a lo largo del tiempo. El diagrama permite visualizar la evolución del proyecto, identificar las dependencias entre actividades y asegurar el cumplimiento de los plazos establecidos, facilitando así el seguimiento y la correcta gestión del trabajo desarrollado.

TFM: DESARROLLO DE ESTACIÓN INTEGRAL DE FILTRADO

CRONOGRAMA

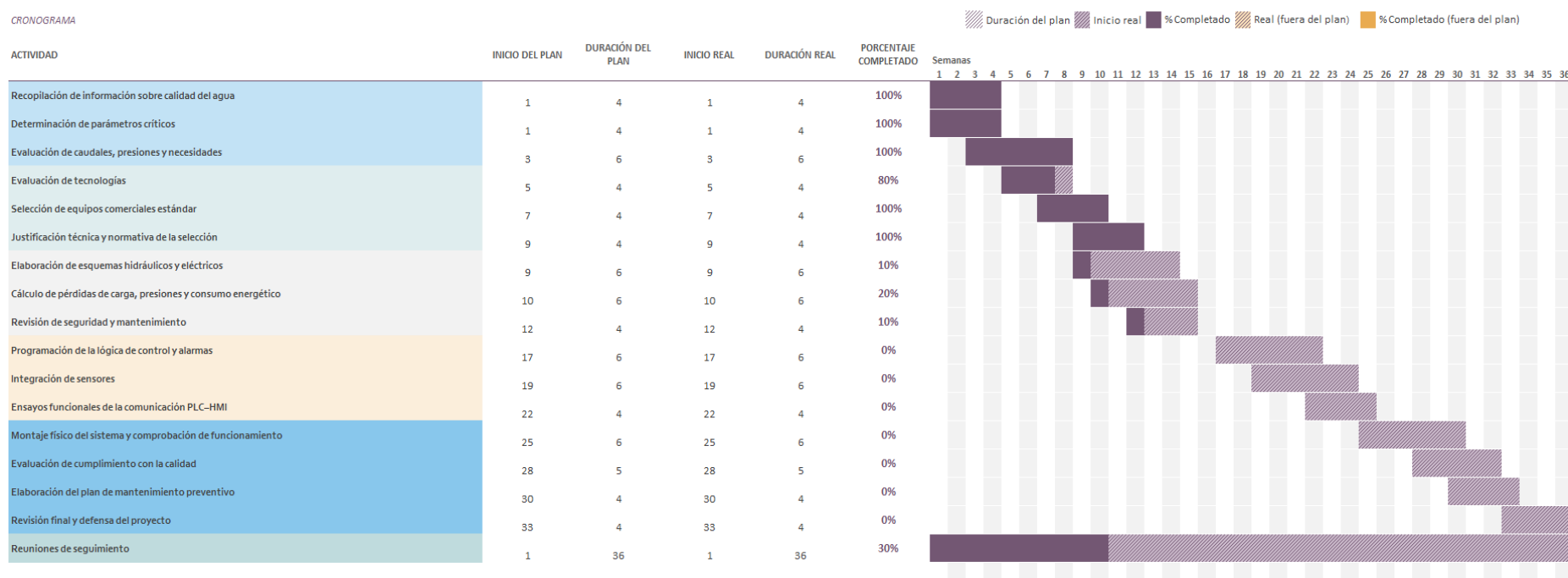


Gráfico 1: Diagrama de Gantt del desarrollo del proyecto

4.5 ESTIMACIÓN ECONÓMICA

4.5.1 ALCANCE Y CRITERIOS DE ESTIMACIÓN

La estimación económica del sistema se ha realizado con el objetivo de evaluar el coste asociado a la implantación y operación de una estación compacta de filtrado, desinfección y control de agua industrial.

El análisis se ha estructurado diferenciando entre costes de inversión inicial (CAPEX) y costes de operación y mantenimiento a 10 años (OPEX), considerando además distintos escenarios de operación en función del régimen horario de funcionamiento de la instalación.

Los costes se han estimado a partir de precios de mercado de equipos estándar, catálogos comerciales y referencias técnicas, adoptando hipótesis conservadoras y representativas de un entorno industrial real.

4.5.2 ESCENARIOS DE OPERACIÓN CONSIDERADOS

Con el fin de analizar el impacto del régimen de funcionamiento sobre los costes de operación, se han definido tres escenarios de operación del sistema:

- **Escenario 1:** Operación continua: 8.760 horas
- **Escenario 2:** Operación a tres turnos de 8 horas (5 días a la semana): 6.240 horas
- **Escenario 3:** Operación a dos turnos a 8 horas (5 días a la semana): 4.160 horas

En todos los escenarios se mantiene invariable el diseño del sistema y, por tanto, los costes de inversión inicial. Las diferencias entre escenarios afectan exclusivamente a los costes de operación y a los ingresos, al variar el número de horas anuales de funcionamiento y, en consecuencia, el consumo energético y la frecuencia de reposición de determinados elementos.

4.5.3 COSTES DE INVERSIÓN (CAPEX)

El coste de inversión en equipos incluye todos los elementos necesarios para la operación del sistema de tratamiento, tales como depósitos auxiliares, bombas de impulsión, separador de grasas, sistemas de filtración, desinfección ultravioleta, sensores de proceso, válvulas y el sistema de control y automatización (PLC y HMI).

La Tabla 1 recoge el desglose detallado del coste de inversión en equipos, considerando el número de unidades necesarias y el precio unitario de cada componente. El coste total de los equipos asciende a **11.904,65 €**.

Adicionalmente, se ha considerado un coste de montaje equivalente al 40 % del coste de los equipos, que engloba las labores de instalación, conexionado hidráulico y eléctrico, así como la puesta en marcha inicial del sistema. Este coste asciende a **4.761,86 €** y se considera independiente del escenario de operación.

Coste de Inversión en equipos					
Fase	Fase	Equipos	Unidades	Precio unitario (€)	Precio total (€)
3	Almacenamiento de agua	Depósito auxiliar	2	51.32 €	102.64 €
4	Separación sólidos gruesos	Filtro de sólidos	1	250.00 €	250.00 €
5	Separación de grasas	Desengrasador	1	661.57 €	661.57 €
6	Impulsión	Bombas de impulsión	5	700.00 €	3,500.00 €
7	Filtración	Carcasa de filtro triple	1	242.00 €	242.00 €
7	Filtración	Filtro 50 µm	1	6.15 €	6.15 €
7	Filtración	Filtro 5 µm	1	9.15 €	9.15 €
8	Eliminación del cloro	Filtro CA	1	61.80 €	61.80 €
9	Sensores	Caudalímetro	1	510.05 €	510.05 €
9	Sensores	Conductividad	1	1,871.00 €	1,871.00 €
9	Sensores	pH	1	126.32 €	126.32 €
9	Sensores	Turbidez	1	190.39 €	190.39 €
9	Sensores	Temperatura	1	46.50 €	46.50 €
9	Sensores	Sensor de nivel de agua	1	13.00 €	13.00 €
9	Sensores	Presión	3	272.54 €	817.62 €
10	Desinfección	Lámpara UV	1	808.00 €	808.00 €
11	Control y automatización	PLC + HMI	1	1,014.37 €	1,014.37 €

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

12	Válvulas	válvula de purga	8	47.19 €	377.52 €
12	Válvulas	válvula de paso	3	47.19 €	141.57 €
12	Válvulas	válvula de bola	15	77.00 €	1,155.00 €
Total equipos			11,904.65 €		
Montaje	40%		4,761.86 €		

*Tabla 1: Coste de inversión y Montaje
Elaboración Propia*

Finalmente, con objeto de contribuir con una operación segura y eficiente del sistema, se ha incluido un coste inicial de formación del personal operador. Dicha formación se imparte una única vez en el momento de la implantación y no depende del régimen de funcionamiento posterior del sistema. El coste de la formación inicial se ha estimado en **1.600 €**, considerando un curso de 20 horas para un máximo de cuatro operarios.

Resumen de total CAPEX

Como resultado, el coste total de inversión inicial (CAPEX) del sistema asciende a **18.266,51 €**, considerando el coste de los equipos, el montaje del sistema y la formación de los operarios. Este importe es común en los tres escenarios de operación analizados.

4.5.4 COSTES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO (OPEX)

Coste anual de Mantenimiento preventivo:

El mantenimiento preventivo del sistema se ha definido con el objetivo de potenciar la continuidad operativa, la fiabilidad de los equipos y el cumplimiento de los requisitos de calidad del agua elegida, minimizando la aparición de fallos y paradas no programadas. Las tareas de mantenimiento preventivo consideradas son independientes del régimen de operación del sistema, ya que se basan en inspecciones periódicas, revisiones programadas y actuaciones de control que no dependen directamente del número de horas de funcionamiento. Por este motivo, el coste asociado al mantenimiento preventivo también se considera constante para los tres escenarios de operación analizados.

Para la valoración económica del mantenimiento preventivo se ha considerado la intervención de un único técnico de mantenimiento, con un coste horario estimado de 15 €/h, representativo de un perfil técnico industrial en un entorno productivo.

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

A partir del número total de horas anuales calculadas, el coste anual de mantenimiento preventivo asciende a **2.070 €**, valor que se mantiene constante para los tres escenarios de operación del sistema.

En la Tabla 2 se presenta el detalle de las tareas de mantenimiento preventivo del sistema, incluyendo su frecuencia, duración y el número de recursos humanos necesarios, a partir de los cuales se ha estimado el total de horas de mantenimiento anual.

A) Horas/ hombre de mantenimiento				
Tarea preventiva	Frecuencia	Duración (h)	Nº personas	Horas/año
Inspección visual general (válvulas, depósitos, fugas)	Semanal	1	1	52
Limpieza/purga de separador de grasas y depósitos	Semestral	2	1	4
Cambio/revisión de filtros (impurezas)	Mensual	1	1	12
Calibración de sondas (pH, ORP, cloro, conductividad)	Mensual	2	1	24
Revisión de bombas	Trimestral	2	1	8
Cambio de lámpara UV	Anual	4	1	4
Sustitución carbón activo	Bimensual	8	1	8
Prueba de interlocks	Semanal	0.5	1	26
Total horas/año				138
B) Personal				
Coste mano de obra €/h	15			
# Personas	1			
Coste anual €	2,070.00 €			

*Tabla 2: Coste mantenimiento preventivo
Elaboración propia*

Coste anual de reposición de elementos:

El coste de reposición de elementos contempla la sustitución periódica de aquellos componentes del sistema cuya vida útil es inferior a la vida útil global de la instalación, así como aquellos sujetos a desgaste por operación continua.

La estimación de estos costes se ha realizado a partir de la vida útil de cada elemento y del número de horas anuales de funcionamiento del sistema, por lo que el coste de reposición depende directamente del escenario de operación considerado

En la Tabla 3 se recoge el coste anual de reposición de elementos para cada uno de los escenarios de operación analizados, considerando la distinta intensidad de uso del sistema,

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

y destacando que a medida que aumentan el número de horas anuales, los costes son más elevados.

Operación continua	Operación a 3 turnos	Operación a 2 turnos
3,207.76 €	2.502,00€	1.801,40 €

Tabla 3: Resumen costes anuales de reposición

Coste energético anual de la instalación:

El coste energético del sistema se ha estimado a partir del consumo eléctrico de los distintos equipos que lo componen y del número de horas anuales de funcionamiento correspondiente a cada escenario de operación. Para la determinación del precio de la energía eléctrica se han tomado como referencia los precios del mercado diario publicados por el Operador del Mercado Ibérico de la Energía (OMIE). A partir del análisis del periodo comprendido entre octubre de 2025 y enero de 2026, se ha adoptado un valor medio representativo de 0,2 €/kWh (200 €/MWh), coherente con la evolución observada del mercado eléctrico durante dicho periodo (OMIE, 2026, datos de mercado diario), tal y como se muestra en el Gráfico 2.

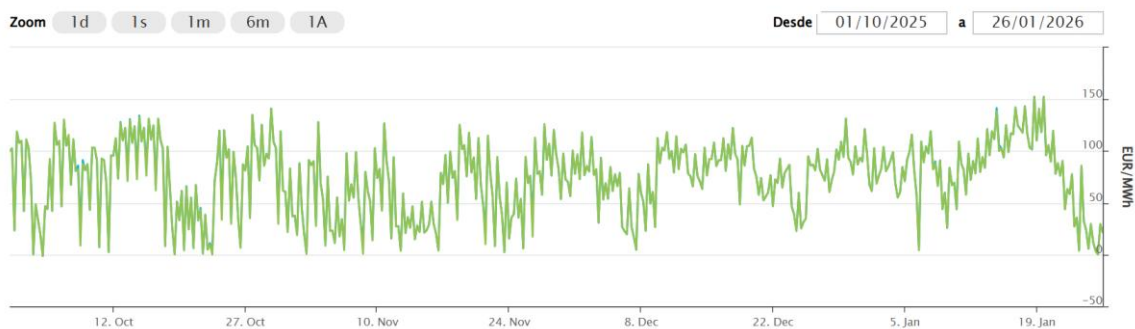


Gráfico 2: Evolución del precio del mercado diario de la electricidad en España (EUR/MWh) Fuente: Operador del Mercado Ibérico de la Energía (OMIE) (2026)

El consumo eléctrico de cada equipo se ha calculado a partir de la potencia nominal indicada en sus respectivas fichas técnicas, las cuales pueden consultarse en el *ANEXO II: Características técnicas de los equipos seleccionados* del presente documento. En particular, se ha considerado el funcionamiento continuo de los equipos principales durante las horas

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

de operación del sistema, mientras que los equipos auxiliares y de instrumentación presentan consumos significativamente inferiores.

Del conjunto de elementos analizados, la lámpara de desinfección ultravioleta y las bombas de impulsión son los equipos que concentran el mayor consumo energético, debido a su potencia instalada y a su régimen de funcionamiento continuo. El consumo asociado al sistema de control y automatización, así como a los sensores de proceso, resulta reducido en comparación y tiene un impacto limitado sobre el coste energético total.

Dado que el consumo eléctrico es directamente proporcional al número de horas de funcionamiento, el coste energético anual del sistema varía en función del escenario de operación considerado, siendo mayor en el escenario de operación continua y menor en el escenario a dos turnos.

En la Tabla 4 se recoge el coste energético anual del sistema para cada uno de los escenarios de operación analizados, calculado a partir del consumo eléctrico estimado y del precio medio de la energía adoptado.

Operación continua	Operación a 2 turnos	Operación a 3 turnos
178,70 €	84,86 €	127,30 €

*Tabla 4: Resumen costes anuales energéticos
Elaboración propia*

A partir de la estimación de los costes de mantenimiento preventivo, reposición de elementos y consumo energético, se ha calculado el coste total anual de operación del sistema para cada uno de los escenarios de funcionamiento considerados.

El mantenimiento preventivo presenta un coste constante en los tres escenarios, al estar basado en inspecciones periódicas y tareas programadas independientes del número de horas de operación. Por el contrario, tanto el coste de reposición de elementos como el coste energético dependen directamente del régimen de funcionamiento del sistema, aumentando con el número de horas anuales de operación.

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

La combinación de estos tres conceptos permite evaluar de forma global el impacto económico del sistema en cada escenario de operación y comparar de manera directa el efecto del régimen horario sobre el coste total anual de mantenimiento y operación. En la Tabla 5 se muestra un resumen del total de los costes anuales de mantenimiento por escenario:

Escenario de operación	Mantenimiento preventivo (€)	Reposición de elementos (€)	Coste energético (€)	Coste total anual (€)
Operación continua	2.070,00 €	3.207,76 €	178,70 €	5,456.47 €
Operación a tres turnos	2.070,00 €	2.502,00 €	127,30	4,699.29 €
Operación a dos turnos	2.070,00 €	1.801,40 €	84,86 € €	3,956.27 €

*Tabla 5: Resumen Costes de operación por escenario
Elaboración propia*

4.5.5 COSTES DE DESMANTELAMIENTO

Finalmente, se ha considerado un coste de desmantelamiento del sistema al final de su vida útil, fijada en un horizonte de 10 años. Este coste se imputa íntegramente en el último año del proyecto y se mantiene constante en los tres escenarios de operación, dado que la retirada del sistema depende del diseño y configuración física de la instalación y no del número de horas de funcionamiento.

El coste de desmantelamiento incluye las labores de desconexión y desmontaje del conjunto (hidráulica, eléctrica y control), la retirada y transporte interno, así como la gestión de residuos no peligrosos asociados. Dado el carácter compacto y modular del sistema, se adopta un valor representativo de **1.500 €** como coste único de fin de vida, coherente con una estimación porcentual aproximada del 8 % sobre el CAPEX.

4.5.6 MODELO DE INGRESOS DEL PROYECTO

Ingresos directos:

Los ingresos asociados al sistema se derivan del ahorro económico generado por la reutilización de agua tratada, valorada al precio unitario del agua industrial. El precio del agua se ha estimado en 1,92 €/m³, de acuerdo con el estudio de referencia de Arbues et al. (2017, p. 59), que analiza los costes y precios del agua en el contexto español.

El volumen anual de agua reutilizada depende directamente del régimen de operación del sistema, dado que el caudal medio de operación es de 300 L/h, por lo que los ingresos anuales varían en función del número de horas de funcionamiento de cada escenario considerado.

Para la proyección de los ingresos a lo largo de la vida útil del proyecto, fijada en un horizonte de 10 años, se ha considerado una actualización anual del precio del agua. Dado que el agua constituye un bien público regulado, no se ha supuesto un incremento del precio acorde con la inflación general de la economía, sino una evolución más conservadora.

En este sentido, aunque las previsiones macroeconómicas para España sitúan la inflación en torno al 3 % anual (BBVA Research, 2025, p. 2), en el presente análisis se adopta una tasa de crecimiento anual del precio del agua del 1 %, con el objetivo de reflejar únicamente actualizaciones tarifarias moderadas y revisiones de costes, sin asumir un encarecimiento real del recurso.

La evolución del precio del agua a lo largo del periodo de análisis se ha modelizado mediante un esquema de crecimiento compuesto, de acuerdo con el modelo de actualización monetaria descrito por BBVA Research (2025), calculándose el precio en el año n mediante la expresión:

$$P_n = P_0 \cdot (1 + g)^n$$

Ecuación 1: Interés Compuesto

Donde:

P_0 : precio inicial del agua (1,92 €/m³),

g : tasa de crecimiento anual adoptada (1 %)

n : número de años transcurridos desde el inicio del proyecto

En la Tabla 6 se recoge la estimación de los ingresos totales generados por la reutilización de agua a lo largo del horizonte de análisis de 10 años, para cada uno de los escenarios de operación considerados. La estimación se ha realizado teniendo en cuenta el número de horas anuales de funcionamiento de cada escenario, un caudal medio de operación de 300 L/h, el precio inicial del agua de 1,92 €/m³ y una tasa de crecimiento anual del 1 %, aplicada mediante el modelo de crecimiento compuesto recién mencionado.

Escenario de operación	Horas de funcionamiento	Volumen total reutilizado (m ³)	Precio inicial del agua (€/m ³)	Tasa de crecimiento anual	Ingresos totales en 10 años (€)
Operación continua	8.760 h/año	2.628	1,92	1 %	54,510.67 €
Operación a tres turnos	6.240 h/año	1.872	1,92	1 %	38,829.52 €
Operación a dos turnos	4.160 h/año	1.248	1,92	1 %	25,886.35 €

*Tabla 6: Ingresos acumulados por reutilización de agua (horizonte 10 años)
Elaboración Propia*

Ingresos indirectos:

Adicionalmente al ahorro directo asociado al consumo de agua, se ha considerado un segundo bloque de beneficios económicos derivados de la implantación del sistema, vinculados a la reducción de costes indirectos asociados a la gestión del agua en el proceso industrial.

Estos beneficios no corresponden a un ingreso directo, sino a costes evitados como consecuencia de una mayor estabilidad en la calidad del agua, una mejora en la continuidad operativa del proceso y una reducción de la dependencia de servicios externos. Entre ellos se incluyen la disminución de la necesidad de analíticas externas de control, la reducción de paradas no planificadas y tiempos ociosos asociados a incidencias en el suministro o la

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

calidad del agua, así como una mayor trazabilidad y control del proceso que reduce reprocesos y consumos extraordinarios.

Dado que estos efectos están directamente relacionados con el volumen de agua reutilizada, se ha adoptado una valorización económica conservadora de 1,50 €/m³, aplicada al caudal tratado por el sistema. Este valor no representa un precio del agua ni un beneficio comercial, sino una estimación agregada de los costes indirectos evitados por unidad de volumen reutilizado, adoptada con un enfoque prudente para no sobreestimar el impacto económico del sistema.

Al igual que en el caso del ahorro directo por consumo de agua, el beneficio anual asociado a estos costes indirectos depende del número de horas de funcionamiento del sistema y del volumen total de agua reutilizada en cada escenario de operación.

La Tabla 7 recoge los ingresos estimados en cada uno de los tres escenarios a lo largo de los 10 años. A diferencia de los ingresos por el volumen de agua tratada, estos ingresos indirectos se asumen constantes a lo largo de la vida útil del sistema.

Escenario de operación	Horas de funcionamiento	Volumen total reutilizado (m ³)	Precio inicial del agua (€/m ³)	Ingreso anual (€)	Ingresos totales en 10 años (€)
Operación continua	8.760 h/año	2.628	1,50	3,942.00 €	39.420.00 €
Operación a tres turnos	6.240 h/año	1.872	1,50	2,808.00 €	28.080.00 €
Operación a dos turnos	4.160 h/año	1.248	1,50	1,872.00 €	18.720.00 €

*Tabla 7: Ingresos asociados al tratamiento indirecto del agua
Elaboración Propia*

4.5.7 RENTABILIDAD DEL PROYECTO

Una vez identificados los diferentes tipos de costes e ingresos en los tres escenarios, se procede a evaluar la viabilidad económica del proyecto en cada uno de los escenarios de operación considerados. Para ello se ha calculado el periodo de recuperación de la inversión (payback). El primer indicador permite estimar el tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a partir de los flujos de caja netos generados por el proyecto.

El periodo de recuperación se ha calculado siguiendo el método clásico descrito por BBVA (2025), que relaciona la inversión inicial con los flujos de caja anuales obtenidos. De acuerdo con este enfoque, el payback se determina como el número de años necesarios para que la suma acumulada de los flujos de caja netos sea igual a la inversión inicial realizada.

La expresión empleada para el cálculo del periodo de recuperación es la siguiente:

$$Payback = \frac{I_0}{FCA}$$

Ecuación 2: Payback

Donde:

I_0 : Inversión inicial

FCA : Flujo de caja anual

Por otro lado, como indicador de rentabilidad, se ha calculado el retorno de la inversión (ROI), que permite cuantificar el beneficio obtenido en proporción al capital invertido, facilitando la comparación entre escenarios. Se ha determinado a partir de los ingresos totales generados, descontando los costes de operación a lo largo del proyecto, y relacionando este resultado con la inversión inicial (BBVA, 2024), según la expresión:

$$ROI = \frac{Ingresos^{10} - OPEX^{10} - Desmantelamiento - I_0}{FCA}$$

Ecuación 3: ROI

Donde:

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

I_0 : Inversión inicial

$Ingresos^{10}$: Ingresos totales a 10 años

$OPEX_{10}$: Costes de mantenimiento a 10 años

Desmantelamiento: Coste de desmantelamiento en el año 10.

Resultados:

Operación continua:

Para el presente escenario, se presenta en la Tabla 8 el flujo de caja proyectado a diez años, comenzando en el año 0 con la inversión inicial del sistema (CAPEX). En los años posteriores se recogen los flujos netos anuales, obtenidos como la diferencia entre los ingresos generados, (ahorro directo en el coste del agua e ingresos indirectos asociados), y los costes de operación (OPEX) constantes. En el último año se incluye el coste de desmantelamiento. El flujo de caja acumulado permite visualizar el momento en el que se recupera la inversión inicial y evaluar la evolución económica del proyecto a lo largo del horizonte de análisis.

Años	Fujo de Caja		Flujo de caja acumulado	
0	-	18,266.51 €	-	18,266.51 €
1		3,601.93 €	-	14,664.58 €
2		3,673.56 €	-	10,991.02 €
3		3,746.19 €	-	7,244.82 €
4		3,819.84 €	-	3,424.98 €
5		3,894.52 €		469.55 €
6		3,970.25 €		4,439.80 €
7		4,047.04 €		8,486.83 €
8		4,124.90 €		12,611.73 €
9		4,203.85 €		16,815.58 €
10		2,783.90 €		19,599.48 €
TOTAL		19,599 €		

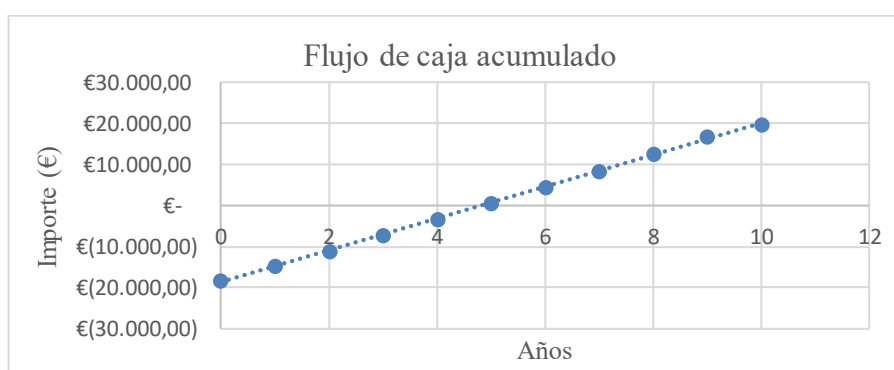
*Tabla 8: Flujo de caja en Operación continua
Elaboración Propia*

A partir de este flujo de caja, se presentan los resultados de rentabilidad en este escenario:

Indicador	Fujo de Caja
Payback	4,4 años
ROI	207,3 %

*Tabla 9: Resultados de rentabilidad Escenario de continuidad operativa
Elaboración Propia*

En el escenario de continuidad operativa, el sistema presenta un comportamiento económico favorable. Tras una inversión inicial de 18.266,51 € en el año 0, los flujos de caja anuales muestran una generación de beneficio operativo sostenida, derivada del ahorro directo en el coste del agua y de los ingresos indirectos asociados (constantes), una vez descontados los costes de operación (constantes). Tal y como muestra la Tabla 8 , el flujo acumulado pasa a ser positivo entre los años 4 y 5, situando el periodo de recuperación de la inversión en aproximadamente 4,4 años. A partir de ese momento, el proyecto comienza a generar excedente económico neto, alcanzando un flujo acumulado final de 19.599,48 € al término del año 10. El retorno de la inversión (ROI), se sitúa en torno al 200 %, lo que indica que el proyecto además de recuperar el capital invertido, genera un beneficio adicional equivalente al doble de dicha inversión.



*Gráfico 3: Flujo de caja acumulado Escenario 1
Elaboración Propia*

La pendiente positiva y prácticamente constante del flujo de caja acumulado representada en el Gráfico 3, refleja una generación de beneficio sostenida a lo largo del horizonte de

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

análisis, evidenciando la estabilidad económica del proyecto bajo condiciones de continuidad operativa.

Operación a 3 turnos:

En el escenario de operación a tres turnos, el comportamiento económico del sistema, reflejado en la Tabla 10, muestra una rentabilidad significativamente más ajustada en comparación con el régimen de continuidad operativa. El flujo de caja acumulado permanece en valores negativos durante la mayor parte del horizonte de análisis, alcanzando el punto de equilibrio únicamente en el tramo final del año 9, lo que sitúa el periodo de recuperación en 9,1 años. Al término del año 10, el excedente generado es reducido (+150,09 €), reflejando que el proyecto recupera prácticamente la totalidad de la inversión inicial, pero sin generar un margen significativo adicional dentro del periodo considerado.

Años	Fujo de Caja	Flujo de caja acumulado
0	-18,266.51 €	-18,266.51 €
1	1,753.27 €	-16,513.24 €
2	1,804.29 €	-14,708.95 €
3	1,856.03 €	-12,852.92 €
4	1,908.49 €	-10,944.43 €
5	1,961.69 €	-8,982.74 €
6	2,015.63 €	-6,967.11 €
7	2,070.33 €	-4,896.78 €
8	2,125.79 €	-2,770.99 €
9	2,182.03 €	-588.96 €
10	739.06 €	150.09 €
TOTAL	150 €	

*Tabla 10: Flujo de Caja A 3 turnos
Elaboración propia*

Indicador	Fujo de Caja
Payback	9,1 años
ROI	100,8 %

*Tabla 11: Resultados de rentabilidad Escenario de 3 turnos
Elaboración Propia*

En el Gráfico 4 , la pendiente del flujo acumulado es positiva y estable, lo que indica generación sostenida de caja, pero a su vez resulta insuficiente para acelerar de forma relevante la recuperación del capital invertido. Este comportamiento sugiere que, en escenarios de menor intensidad operativa o menor diferencial en el coste del agua, la viabilidad económica del sistema depende en gran medida de la estabilidad de los ingresos indirectos y de posibles incrementos futuros en el precio del recurso hídrico. En consecuencia, aunque el proyecto sigue siendo técnicamente viable y financieramente equilibrado en el escenario 2, su atractivo económico es limitado en comparación con el escenario de continuidad operativa.

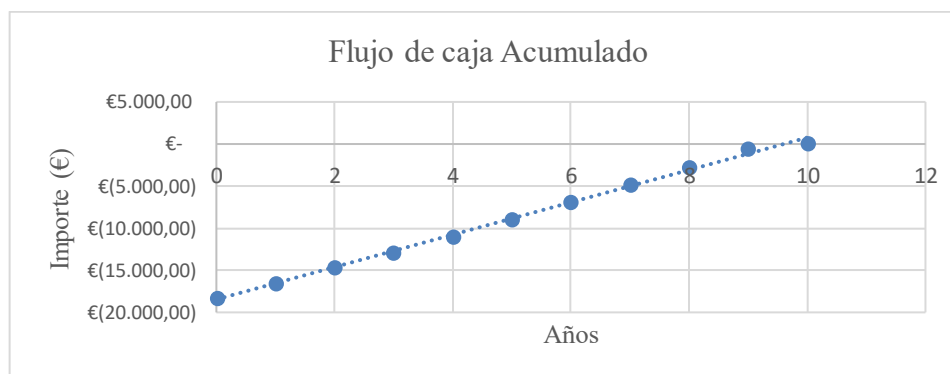


Gráfico 4: Flujo de caja acumulado Escenario 2
Elaboración Propia

Operación a 2 turnos:

En el escenario de operación a dos turnos, el comportamiento económico del sistema se muestra claramente limitado. A pesar de que los flujos de caja anuales son positivos durante la mayor parte del horizonte de análisis, su magnitud resulta insuficiente para compensar la inversión inicial dentro del periodo de diez años. El flujo acumulado permanece en valores negativos al finalizar el año 10 (–14.722 €), tal y como se muestra en la Tabla 12. Este resultado indica que el proyecto no alcanza el punto de equilibrio en el horizonte de tiempo considerado.

Años	Fujo de Caja	Flujo de caja acumulado
0	-18,266.51 €	-18,266.51 €

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

1	345.44 €	-17,921.07 €
2	379.46 €	-17,541.61 €
3	413.95 €	-17,127.67 €
4	448.92 €	-16,678.74 €
5	484.39 €	-16,194.36 €
6	520.35 €	-15,674.01 €
7	556.81 €	-15,117.19 €
8	593.79 €	-14,523.41 €
9	631.28 €	-13,892.12 €
10	-830.70 €	-14,722.83 €
TOTAL		-14,723 €

*Tabla 12: Flujo de Caja a 2 turnos
Elaboración Propia*

Poniendo el foco en los indicadores de rentabilidad, El periodo de recuperación estimado se sitúa en 30,8 años, muy por encima de los estándares habituales de decisión de inversión industrial, lo que refleja una estructura de ingresos demasiado reducida en relación con el capital invertido. Aunque el ROI alcanza aproximadamente el 19,4 %, este valor debe interpretarse con cautela, ya que no implica recuperación efectiva del capital en el plazo analizado, sino una generación parcial de beneficio operativo insuficiente para compensar la inversión inicial.

Indicador	Fujo de Caja
Payback	30,8 años
ROI	19,40 %

*Tabla 13: Resultados de rentabilidad Escenario de 2 turnos
Elaboración Propia*

Desde una perspectiva estratégica, este escenario pone de manifiesto la fuerte dependencia del modelo económico respecto al nivel de utilización del sistema. La pendiente del flujo acumulado del Gráfico 5 es positiva pero muy reducida, siendo casi constante, evidenciando una capacidad de generación de caja limitada. En consecuencia, bajo un régimen de dos turnos, la implantación del sistema no resulta financieramente atractiva, salvo que se produzcan incrementos significativos en el coste del agua, mejoras en la eficiencia operativa o incentivos adicionales vinculados a la sostenibilidad.

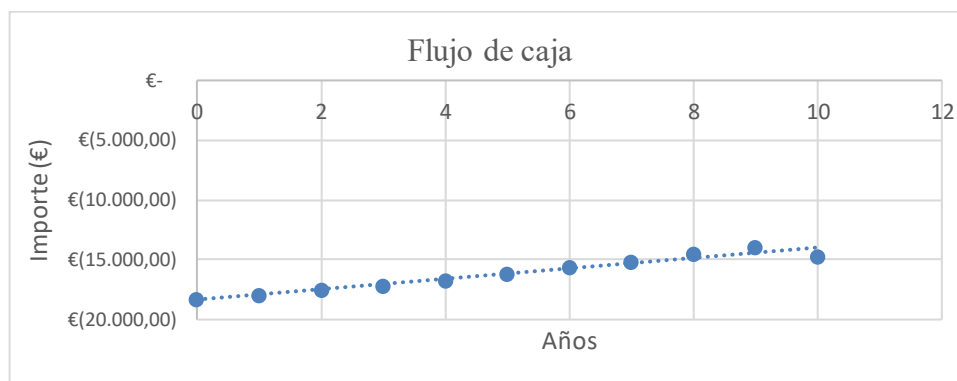


Gráfico 5: Flujo de Caja acumulada Escenario 3
Elaboración Propia

4.5.8 CONCLUSIONES SOBRE LA RENTABILIDAD

El análisis económico realizado pone de manifiesto que la viabilidad del sistema es directamente dependiente del régimen de explotación y del valor económico asignado al recurso hídrico. Los tres escenarios evaluados muestran comportamientos claramente diferenciados: mientras que en continuidad operativa el proyecto presenta una recuperación rápida de la inversión y un retorno elevado, en el régimen de tres turnos la rentabilidad se ajusta significativamente, y en el escenario de dos turnos la inversión no se recupera en el horizonte temporal considerado resultando ser claramente no rentable.

Este comportamiento confirma que los tres factores determinantes son el coste de la tecnología, la intensidad de uso, y especialmente, la valorización económica del agua como recurso productivo. Se comprueba que en entornos donde el agua se percibe como un insumo de bajo coste, las inversiones en eficiencia hídrica tienden a mostrar retornos insuficientes. Sin embargo, a medida que el precio del agua aumenta o se internalizan costes indirectos asociados a sostenibilidad, riesgo regulatorio o reputación corporativa, la rentabilidad del sistema mejora de forma sustancial.

La conclusión más relevante que puede sacarse del modelo es que el proyecto actúa como un mecanismo de cobertura frente a la incertidumbre futura del coste del agua. En escenarios de incremento progresivo del precio del recurso, el sistema además de reducir el gasto operativo estabiliza el coste unitario del proceso productivo, convirtiéndose en una

DEFINICIÓN DEL TRABAJO

herramienta de gestión del riesgo más que en una mera inversión en ahorro, ya que frente a futuras subidas de precio del agua, el sistema protege a la empresa.

En consecuencia, más allá de los indicadores clásicos de ROI y payback, el análisis evidencia que la decisión de inversión debe interpretarse en clave estratégica. El sistema resulta atractivo en contextos de alta utilización y creciente presión sobre el recurso hídrico (escenarios 1 y 2), reforzando la idea de que la eficiencia en el uso del agua no es únicamente una cuestión ambiental, sino un elemento estructural de competitividad industrial a medio y largo plazo.

Capítulo 5. MODELO DESARROLLADO

5.1 ANÁLISIS DEL SISTEMA

En este capítulo describe el funcionamiento general del sistema de tratamiento y reutilización de agua industrial desde un punto de vista operativo, definiendo los distintos estados del sistema, las condiciones de funcionamiento y las interacciones entre los distintos elementos que lo componen. El sistema analizado se corresponde con la arquitectura descrita en la Ilustración 3, en la que se representa el diagrama P&ID del proceso.

El objetivo principal del sistema es permitir la reutilización de agua procedente del proceso principal de llenado, mediante una secuencia de tratamiento que permita alcanzar los niveles de calidad establecidos por la normativa aplicable, bajo las condiciones de operación consideradas en el diseño.

Desde el punto de vista funcional, el sistema se organiza en una serie de etapas consecutivas de tratamiento que incluyen la eliminación de sólidos gruesos, la separación de grasas, la filtración de partículas en suspensión, la eliminación de cloro residual y la desinfección mediante radiación ultravioleta. Estas etapas se disponen de forma secuencial, de manera que cada una de ellas actúa como barrera frente a contaminantes específicos, contribuyendo al correcto funcionamiento de las etapas posteriores. La descripción detallada de los equipos que componen cada una de estas etapas se desarrolla en el apartado 5.2 Diseño del sistema

El funcionamiento del sistema se estructura en distintos modos de operación que permiten gestionar su comportamiento en función del estado del proceso. Esta organización se basa en un enfoque de control por estados, alineado con la guía GEMMA (Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts), que establece una clasificación estructurada de los distintos modos de funcionamiento de un sistema automatizado.

En primer lugar, el sistema se encuentra en estado de paro, en el cual todos los elementos permanecen desactivados y el sistema no realiza ninguna operación de tratamiento. Este estado actúa como condición segura inicial y permite la transición controlada hacia otros modos de funcionamiento.

El modo automático constituye el estado de operación normal del sistema. En este modo, el sistema ejecuta de forma secuencial el proceso de tratamiento del agua, activando los distintos equipos en función de las condiciones de operación definidas. El control del proceso se basa en la monitorización de variables clave, permitiendo detectar desviaciones y asegurar que el funcionamiento se mantiene dentro de los rangos establecidos.

En caso de detección de una anomalía o fallo en alguno de los elementos del sistema, se activa el estado de avería. En este modo, el sistema interrumpe su funcionamiento normal y adopta una configuración segura, evitando la continuidad del proceso en condiciones no adecuadas.

Adicionalmente, el sistema incorpora un modo de mantenimiento que permite la intervención sobre los distintos equipos de forma controlada tanto de forma automática como de manera manual, si el operario lo considera.

Las transiciones entre los distintos modos de operación que se acaban de exponer son gestionadas por un autómata programable (PLC) que centraliza la lógica de funcionamiento y garantiza en todo momento un comportamiento coherente y seguro. El sistema permite la interacción continua con el operario a través de una interfaz HMI, mediante la cual se supervisa el estado del proceso, se gestionan los distintos modos de operación y se actúa sobre el sistema cuando es necesario. La descripción detallada de la lógica de control asociada a estos modos, incluyendo la definición de estados, variables y secuencias de operación, así como la interacción con el operario, se desarrolla en el apartado 5.3. Finalmente, el análisis de modos de fallo y efectos (FMEA) de cada uno de los equipos que conforman el sistema, se realiza en apartado 0, para identificar y priorizar los fallos potenciales del sistema y definir las correspondientes medidas de control.

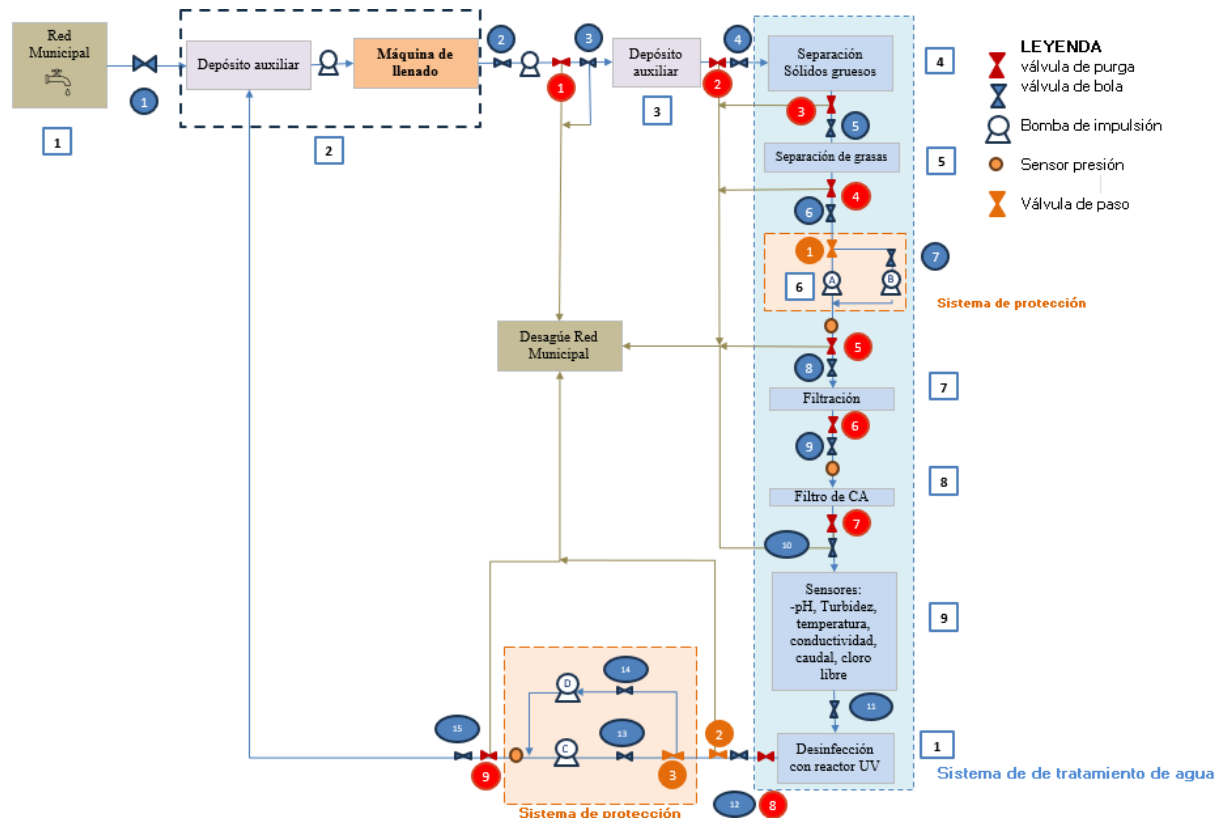


Ilustración 3: Esquema P&ID de la estación integral de filtrado

5.2 DISEÑO DEL SISTEMA

El diseño del sistema de tratamiento se basa en la integración de equipos estándar de mercado seleccionados en función de los requisitos de caudal (200–340 L/h), presión de operación y criterios de diseño como compacidad, modularidad y facilidad de mantenimiento. La disposición de las etapas se encuentra representada en la Ilustración 3, correspondiente al diagrama P&ID del sistema. A continuación, se describen los principales equipos que conforman el sistema, indicando su función dentro del proceso, así como los criterios seguidos para su selección. Adicionalmente, el resto de las características técnicas de todos los equipos seleccionados se recogen de manera detallada en el ANEXO II: Características técnicas de los equipos seleccionados.

Depósito auxiliar

El sistema incorpora un depósito auxiliar cuya función es actuar como elemento de amortiguación hidráulica y almacenamiento temporal, permitiendo estabilizar el caudal de entrada al sistema y facilitar la continuidad del proceso. Se ha seleccionado un depósito dosificador de 50 L, fabricado en polietileno de alta densidad (PEAD) de calidad alimentaria, adecuado para el almacenamiento de agua en entornos industriales.

El volumen del depósito se ha dimensionado en función del caudal de operación del sistema (200–340 L/h), lo que permite disponer de un tiempo de retención comprendido aproximadamente entre 9 y 15 minutos. Este intervalo resulta suficiente para absorber pequeñas variaciones de caudal y garantizar una alimentación estable al sistema de tratamiento.

Se trata de un equipo ligero y fácilmente manipulable, con un peso compatible con la manipulación por un único operario, lo que facilita su integración en un sistema compacto y transportable, tal y como se puede ver en la Ilustración 4.



Ilustración 4: Depósito auxiliar

Filtro de sólidos gruesos

El sistema incorpora, como primera etapa del tratamiento, un filtro de cesta simple cuya función es la retención de sólidos de gran tamaño presentes en el agua de entrada, observable

en la Ilustración 5. Esta etapa constituye la primera barrera física del proceso, protegiendo los equipos situados aguas abajo frente a posibles obstrucciones o daños mecánicos.

Se ha seleccionado este tipo de filtro por su elevada capacidad de retención en relación con su diámetro nominal y por su diseño orientado a facilitar el mantenimiento. En particular, la presencia de una tapa superior desmontable permite realizar operaciones de limpieza sin necesidad de desmontar el equipo de la línea, reduciendo tiempos de parada y simplificando la operación.

El filtro dispone de un sistema de purga inferior que permite el vaciado de los sólidos acumulados, así como de un recubrimiento interno y externo en resina epoxi que protege frente a la corrosión, garantizando así su durabilidad en entornos industriales.



Ilustración 5: Filtro de Sólidos gruesos

Separador de grasas

Tras la etapa de retención de sólidos gruesos, el sistema incorpora un separador de grasas cuya función es la eliminación de aceites y grasas provenientes del agua de red, evitando su paso a las etapas posteriores. Esta fase completa el tratamiento físico inicial del agua, reduciendo la carga de contaminantes que podrían afectar al rendimiento de los equipos situados aguas abajo.

Se ha seleccionado un equipo con una capacidad significativamente superior al caudal de operación del sistema, lo que permite aumentar la eficiencia de separación mediante la reducción de la velocidad del fluido y el incremento del tiempo de retención. Este sobredimensionamiento favorece la decantación de las grasas y minimiza su arrastre hacia las etapas de filtración.

El equipo se puede ver en la Ilustración 6, y presenta una configuración compacta en polietileno, con entradas y salidas integradas y accesos superiores que facilitan las operaciones de inspección y mantenimiento. Asimismo, su diseño permite la acumulación y posterior retirada de las grasas mediante operaciones periódicas de vaciado, simplificando la gestión operativa del sistema



Ilustración 6: Separador de grasas

Bombas de impulsión

Tras las etapas iniciales de separación de sólidos gruesos y eliminación de grasas, correspondientes a una primera fase de tratamiento físico del agua, se disponen las bombas de impulsión de la marca Grundfos (Ilustración 7). Su función es asegurar un caudal controlado y estable a lo largo de todo el sistema, compensando las pérdidas de carga generadas en las etapas posteriores.

MODELO DESARROLLADO

Se ha optado por una configuración en paralelo con dos bombas centrífugas multietapa en línea, de manera que se garantiza la continuidad de operación del sistema en caso de fallo de alguna y aumentar la fiabilidad global del sistema.

Presentan un caudal nominal de 1,8 m³/h, significativamente superior al caudal de diseño del sistema (200–340 L/h), lo que permite operar en condiciones alejadas del punto de máxima exigencia y reduce el desgaste del equipo. Asimismo, su diseño vertical en línea facilita su integración en un sistema compacto tipo skid, coherente con los objetivos de modularidad establecidos.

El uso de materiales como acero inoxidable en las partes en contacto con el fluido y la presencia de un cierre mecánico de cartucho contribuyen a mejorar la durabilidad del equipo y simplificar las tareas de mantenimiento. De manera análoga, al final del sistema de tratamiento se dispone un segundo conjunto de bombas en paralelo cuya función es recircular el agua ya tratada e impulsarla nuevamente hacia el sistema principal de llenado.



Ilustración 7: Bomba de impulsión

Sistema de filtración de partículas

Tras la etapa de impulsión, el sistema incorpora un módulo de filtración de partículas basado en una carcasa triple de alto rendimiento para cartuchos tipo BIG de 10". Este conjunto permite realizar una filtración escalonada del agua, constituyendo una etapa clave en la eliminación de sólidos en suspensión antes de las fases finales de tratamiento.

La configuración en tres carcasas en serie permite implementar una filtración progresiva mediante cartuchos de distinta granulometría. En concreto, se dispone un primer cartucho de 50 μm , destinado a la retención de partículas de mayor tamaño, seguido de un cartucho de 5 μm que permite eliminar partículas más finas. De esta forma, se elimina de manera progresiva las partículas de mayor a menor tamaño, aumentando la vida útil de la carcasa presentada en la Ilustración 8.

La elección de una carcasa de formato "BIG" responde a la necesidad de disponer de una mayor superficie filtrante, lo que se traduce en menores pérdidas de carga y mayores intervalos entre operaciones de mantenimiento para el caudal de operación considerado. Asimismo, el empleo de un módulo compacto en polipropileno facilita su integración en el sistema, aportando resistencia a la corrosión y compatibilidad con aplicaciones de tratamiento de agua.

El sistema de carcasas incorpora válvulas de drenaje en cada una de las carcasas, lo que permite vaciar el módulo y simplificar las operaciones de sustitución de los cartuchos. La instalación de válvulas de aislamiento a la entrada y salida del conjunto facilita igualmente su mantenimiento sin necesidad de detener el resto del sistema.



Ilustración 8: Carcasa triple de Filtro

Filtro de Carbón activo

Tras la etapa de filtración de partículas, el sistema incorpora un cartucho de carbón activo, de la marca Pentair, cuya función es la eliminación del cloro residual presente en el agua. Pentair es un fabricante reconocido a nivel internacional en soluciones de tratamiento de agua, cuyos productos cumplen estándares de calidad y certificaciones como NSF/ANSI, lo que garantiza su fiabilidad y rendimiento en aplicaciones industriales. Esta etapa resulta crítica, ya que la presencia de cloro puede afectar negativamente al rendimiento del reactor UV tal y como se explica en el *Estado de la Cuestión* de la presente memoria, reduciendo la eficacia del proceso de desinfección.

Se ha seleccionado un cartucho de doble tecnología que combina un medio exterior de polipropileno para la retención de sedimentos residuales con un núcleo interno de carbón en bloque, permitiendo simultáneamente la eliminación de partículas finas y la reducción de sabor y olor a cloro. Esta configuración mejora la eficiencia del sistema al evitar la obturación prematura del carbón activo y maximizar su vida útil.

Por otro lado, el cartucho presenta una baja pérdida de carga y una elevada capacidad de retención de contaminantes, lo que lo hace adecuado para su integración en sistemas de caudal reducido como el desarrollado en este proyecto.

Reactor UV

Como etapa final del tratamiento, el sistema incorpora un reactor de desinfección mediante radiación ultravioleta modelo BIO-UV Home 2, cuya función es la inactivación microbiológica del agua previamente filtrada. La etapa de desinfección se ha dimensionado en función del caudal de operación, de manera que el tiempo de exposición no se define de forma independiente, sino como resultado de la combinación entre la dosis de radiación suministrada y el caudal de paso. Para el rango de caudales considerado en este proyecto (200–340 L/h), el equipo seleccionado proporciona una dosis de 40 mJ/cm², valor adecuado para la inactivación microbiológica, ya que está diseñado para operar a un caudal máximo de 2,2 m³/h, significativamente superior al del sistema, proporcionando un margen favorable en términos de tiempo de residencia del agua en el interior del reactor.

No obstante, la eficacia del proceso depende de otros parámetros como la turbidez del agua y el estado de la lámpara. En este sentido, las etapas previas de filtración permiten reducir la carga de sólidos en suspensión, mejorando la transmitancia de la radiación UV. Por otro lado, el equipo incorpora un sistema de señalización mediante dos diodos, uno naranja y otro rojo, que se activan respectivamente cuando el rendimiento de la lámpara desciende por debajo del 75 % y del 50 %, permitiendo anticipar necesidades de mantenimiento o activar estados de alarma, que se detallan en el epígrafe 5.3: *Lógica de control e implementación*.

Desde el punto de vista constructivo, el reactor presenta un diseño compacto en acero inoxidable, con una única lámpara UV-C de 33 W de potencia eléctrica y una potencia UV efectiva de 8,5 W. La vida útil de la lámpara, en torno a 13.000 horas, contribuye a reducir la frecuencia de sustitución y los costes de mantenimiento, facilitando su integración en sistemas de operación continua.



Ilustración 9: Lámpara UV

Sistema de válvulas

El sistema incorpora válvulas de bola y válvulas de paso que permiten gestionar el flujo del agua a lo largo del proceso y facilitar las operaciones de mantenimiento. Concretamente, el sistema tiene 15 válvulas de bola, pensadas para aislar las diferentes etapas, 9 válvulas de purga, encargadas de purgar el agua en los tramos de tubería aislados, y 3 válvulas de paso cuya función es desviar el agua por un camino u otro. Las válvulas de paso (Ilustración 11) se emplean principalmente para el cierre y aislamiento de tramos de tubería, posibilitando la intervención sobre equipos concretos sin necesidad de detener el conjunto del sistema.

Por su parte, las válvulas de bola (Ilustración 10) permiten la redirección del flujo, haciendo posible derivar el agua bien hacia el tren de tratamiento o directamente hacia la red en función de las necesidades de operación. Esta configuración aporta flexibilidad al sistema y permite adaptarlo a distintas condiciones de funcionamiento, así como implementar estrategias de seguridad ante posibles fallos.



Ilustración 10: Válvula de bola



Ilustración 11: Válvula de paso

Sistema de instrumentación y monitorización

El sistema incorpora un conjunto de sensores destinados a la monitorización en continuo de las principales variables de proceso, para asegurar el correcto funcionamiento del sistema y detectar posibles desviaciones en la calidad del agua tratada.

En primer lugar, se dispone de un caudalímetro de la marca Endress+Hauser, que permite medir el caudal de operación en tiempo real, facilitando el control del proceso y la verificación de las condiciones de diseño.

Asimismo, se integran sensores de conductividad y pH, también de la marca Endress+Hauser, que permiten evaluar la calidad química del agua y detectar posibles alteraciones en su composición. Estos equipos emplean salidas normalizadas de 4–20 mA, lo que facilita su integración en el sistema de control del PLC. En el caso del sensor de pH, el sensor genera una señal en mV proporcional al pH del agua.

La turbidez del agua se monitoriza mediante un sensor específico de la marca Endress+Hauser. Esta variable resulta clave en el proceso, ya que afecta directamente a la eficacia de la radiación UV y cuyo control permite garantizar condiciones adecuadas de entrada a la etapa de desinfección.

Adicionalmente, se dispone de sondas de presión distribuidas en puntos estratégicos del sistema, concretamente a la salida de la bomba de impulsión, tras el sistema de filtración y

a la entrada del reactor UV. Estas sondas permiten controlar el régimen hidráulico y detectar fenómenos de colmatación o pérdidas de carga anómalas en los equipos. Los sensores seleccionados presentan un rango de medida de 0–20 bar, con una precisión de $\pm 0,2$ bar, siendo adecuados para las condiciones de operación del sistema. Están fabricados en acero inoxidable y cuentan con conexión al proceso mediante rosca G 1/8", lo que facilita su integración en la línea. Asimismo, soportan temperaturas de fluido de hasta 120 °C y sobrepresiones de hasta 40 bar, proporcionando un amplio margen de seguridad para su aplicación en la medida de presión en línea.

El sistema se completa con la monitorización de la temperatura del agua, así como con un sensor de nivel en el depósito auxiliar, que permite gestionar el volumen disponible y evitar situaciones de funcionamiento en vacío o sobrellenado.

Toda la información generada por estos sensores es recogida y procesada por un autómata programable (PLC) de Siemens, que constituye el núcleo del sistema de control. La interacción con el operario se realiza a través de una interfaz HMI, desde la cual se supervisa el estado del sistema, se gestionan los distintos modos de operación y se actúa sobre el proceso. La lógica de control asociada a estos elementos se desarrolla en el epígrafe 5.3 *Lógica de control e implementación*.

Finalmente, una vez descritos los equipos que conforman el sistema, se puede observar en la Ilustración 12 y en la Ilustración 13 una representación visual del sistema integrado, generada mediante herramientas de modelado, que permite apreciar la disposición física de una manera realista, de los equipos sobre un mismo conjunto. Estas ilustraciones ponen de manifiesto el carácter compacto del sistema, cumpliendo con uno de los objetivos de diseño establecidos ya que el sistema completo puede integrarse en un carrito. Adicionalmente, en la Tabla 16 se recogen las dimensiones principales de los equipos seleccionados, a partir de las cuales se ha estimado la superficie total ocupada por el sistema, que se sitúa en torno a 1,8 m². Este análisis permite verificar que la solución propuesta presenta un carácter modular, facilitando su integración física y su posible adaptación a distintos entornos de operación.



Ilustración 12: Integración del sistema de llenado con el sistema de esterilización
Elaboración Propia



Ilustración 13: Representación del sistema Integrado de Esterilización
Elaboración Propia

Equipo	Cantidad	Medidas consideradas	Superficie ocupada
Depósito auxiliar 50 L	1	Ø 360 mm × 690 mm	0,10 m²
Bombas de impulsión en paralelo	2	250 × 250 × 700 mm c/u, estimado	0,12 m²
Separador de grasas	1	1,70 × 0,77 × 1,23 m	1,31 m²

Equipo	Cantidad	Medidas consideradas	Superficie ocupada
Filtro triple BIG 10"	1	495 × 590 × 185 mm	0,11 m²
Cartucho carbón activo	1	8 × 8 × 31 cm	0,006 m²
Cartucho sedimentos 50 μm	1	6 × 6 × 25 cm	0,004 m²
Cartucho sedimentos 5 μm	1	6 × 6 × 25 cm	0,004 m²
Reactor UV en línea	1	Integrado en línea	≈ 0 m ²
TOTAL			≈ 1,8 m²

*Tabla 14: Estimación geométrica de los equipos de la estación de tratamiento
Elaboración Propia*

5.3 LÓGICA DE CONTROL E IMPLEMENTACIÓN

La lógica de control del sistema se ha representado mediante un GRAFCET general, representado en la Ilustración 14, que recoge los estados de funcionamiento de la estación de tratamiento y las transiciones entre ellos. Este esquema permite estructurar el comportamiento del PLC en condiciones de operación normal, parada, avería y mantenimiento, así como definir las secuencias específicas de intervención sobre los distintos equipos del sistema.

La lógica de control del sistema se ha desarrollado mediante un GRAFCET general que permite representar los diferentes estados de funcionamiento de la instalación y las transiciones entre ellos. El sistema parte inicialmente del estado gsParado, correspondiente al estado seguro de la instalación. En esta situación se activa la señal luminosa oParado = 1 y la válvula de bola de entrada de agua de red (VB1) permanece cerrada, evitando la entrada de agua al sistema.

Cuando el operario pulsa el botón de marcha, se produce la transición desde gsParado hacia el estado gsAuto, correspondiente al funcionamiento automático normal del sistema. Durante este estado, el sistema opera de forma continua, realizando el tratamiento de agua y

supervisando en tiempo real las diferentes variables del proceso mediante la instrumentación instalada.

En cualquier momento, si el operario pulsa el botón de paro (iParo), el sistema vuelve al estado gsParado, ejecutando una parada segura. Para ello, se interrumpe la entrada de agua mediante el cierre de la válvula VB1, se detienen los equipos de impulsión y se habilita el vaciado controlado del agua contenida en las tuberías hacia el desagüe municipal mediante las válvulas de purga correspondientes.

Por otro lado, si durante el funcionamiento se detecta una condición crítica de fallo, se activa la señal iAveria, produciéndose la transición al estado gsAveria. En este estado el sistema permanece detenido y se activa la señal luminosa de avería (oAveria = 1) para aviso del operario. El sistema únicamente podrá abandonar este estado cuando el operario pulse el botón de rearme (iRearme), regresando entonces al estado seguro gsParado.

Adicionalmente, el sistema incorpora un estado de mantenimiento automático denominado gsMantenimientoA, al que se accede cuando se activa la señal iMantenimientoA. Este estado corresponde a situaciones en las que el sistema detecta la necesidad de realizar tareas preventivas o revisiones de determinados equipos. Una vez realizada la intervención correspondiente, el operario debe pulsar el botón de rearme de mantenimiento (iRearmeMant) para devolver el sistema al estado gsParado.

Asimismo, el operario puede solicitar manualmente tareas de mantenimiento mediante el botón iMantenimiento, produciéndose la transición desde gsAuto al estado gsMantenimiento. En este modo, el operario debe seleccionar el equipo sobre el que desea intervenir mediante los botones iSG, iGrasas, iFiltro, iCA o iUV, correspondientes respectivamente a las etapas de separación de sólidos gruesos, separación de grasas, filtración, carbón activo y desinfección UV.

Una vez seleccionado el equipo, el sistema inicia automáticamente una secuencia de mantenimiento destinada a aislar hidráulicamente el tramo correspondiente. Para ello, en primer lugar, se cierran las válvulas de bola aguas arriba y aguas abajo de la etapa

seleccionada. Posteriormente, se abre la válvula de purga asociada para vaciar el agua contenida en dicho tramo hacia el desagüe municipal, permitiendo así que el operario pueda intervenir de forma segura sobre el equipo.

Cuando finaliza la intervención, el operario pulsa el botón iFinMantenimiento, iniciándose la secuencia de retorno a estado seguro. Durante esta etapa se cierra la válvula de purga y se vuelven a abrir las válvulas de bola correspondientes, restableciendo la continuidad hidráulica del sistema y permitiendo que la instalación quede preparada para un nuevo arranque.

Cabe destacar que señales como iAveria o iMantenimientoA no corresponden a señales físicas directas, sino a señales lógicas internas generadas por el PLC a partir del análisis de distintas variables del proceso y condiciones de operación. Estas señales se activan cuando determinados sensores físicos, temporizadores o condiciones de funcionamiento alcanzan valores previamente definidos, permitiendo al sistema tomar decisiones automáticas sobre el estado de operación.

De este modo, parámetros medidos mediante instrumentación física, como la turbidez, el caudal, la presión, el nivel del depósito auxiliar o el rendimiento de la lámpara UV, pueden generar la activación de señales lógicas de avería o mantenimiento automático cuando se detectan desviaciones relevantes o necesidades de intervención preventiva.

Por otro lado, señales como iMantenimiento, iSG, iGrasas, iFiltro, iCA, iUV o iFinMantenimiento sí se encuentran asociadas a acciones directas del operario realizadas desde la interfaz HMI mediante pulsadores virtuales. En particular, la señal iFinMantenimiento se activa cuando el operario confirma desde la pantalla HMI que la intervención sobre el equipo ha finalizado, permitiendo al PLC ejecutar la secuencia de retorno del sistema a un estado seguro de operación.

Con el objetivo de estructurar la lógica de control y facilitar la comprensión del funcionamiento del sistema automatizado, en la Tabla 15 se recogen las principales señales

físicas, señales lógicas internas y salidas consideradas en la programación funcional del PLC.

Tipo	Señal	Descripción
Entrada física	CI	Caudalímetro 4–20 mA
Entrada física	TT	Sensor de temperatura
Entrada física	pHT	Sensor de pH
Entrada física	CT	Sensor de conductividad
Entrada física	CIT	Sensor de cloro libre
Entrada física	TurbT	Sensor de turbidez
Entrada física	LT_AUX	Sensor de nivel del depósito auxiliar
Entrada física	PT1	Sensor de presión a la salida de bombas
Entrada física	PT2	Sensor de presión tras filtración
Entrada física	PT3	Sensor de presión en línea de proceso
Entrada física	iMarcha	Pulsador de arranque del sistema
Entrada física	iParo	Pulsador de parada del sistema
Entrada física	iRearme	Rearme tras estado de avería
Entrada física	iRearmeMant	Rearme tras mantenimiento automático
Entrada física	iMantenimiento	Activación manual del modo mantenimiento
Entrada física	iSG	Selección de mantenimiento de sólidos gruesos
Entrada física	iGrasas	Selección de mantenimiento del separador de grasas

Tipo	Señal	Descripción
Entrada física	iFiltro	Selección de mantenimiento del sistema de filtración
Entrada física	iCA	Selección de mantenimiento del carbón activo
Entrada física	iUV	Selección de mantenimiento de la lámpara UV
Entrada física	iFinMantenimiento	Confirmación desde HMI de fin de mantenimiento
Señal lógica PLC	iAveria	Señal interna de fallo crítico del sistema
Señal lógica PLC	iMantenimientoA	Señal interna de mantenimiento automático
Salida	oParado	Indicador luminoso de sistema parado
Salida	oAveria	Indicador luminoso de avería
Salida	oMantenimiento	Indicador luminoso de mantenimiento manual
Salida	oMantenimientoA	Indicador luminoso de mantenimiento automático
Salida	OVB1...OVBn	Accionamiento de válvulas de bola
Salida	OVP1...OVPn	Accionamiento de válvulas de purga
Salida	OBombaA / OBombaB	Accionamiento de bombas principales y de reserva
Salida	OVPaso	Accionamiento de válvulas de paso para conmutación de bombas

*Tabla 15: Principales señales de entrada, señales lógicas y salidas del sistema de control
Elaboración Propia*

La señal lógica **iAveria** se activa cuando se detecta cualquier condición que comprometa la seguridad del sistema, la calidad del agua tratada o la continuidad mínima de operación. La activación de cualquiera de las siguientes condiciones provoca la transición automática del

sistema al estado **gsAveria**, ejecutando una parada segura de la instalación (parando sistema, evacuando agua y cerrando la válvula de bola 1 para parar la entrada de red:

- Rendimiento de la lámpara UV inferior al 50 %, que conlleva la activación del diodo rojo asociado.
- Caudal fuera del rango de funcionamiento establecido (200–340 L/h).
- Presión fuera del rango de operación permitido (1,2–6 bar).
- Nivel mínimo alcanzado en el depósito auxiliar.
- Fallo simultáneo de una bomba principal y su bomba de reserva asociada.
- Ausencia de recuperación de caudal tras la conmutación automática de bombas.
- Valores críticos de turbidez fuera de rango.
- Valores críticos de pH fuera de rango.
- Valores críticos de conductividad fuera de rango.
- Presencia de cloro libre fuera de los límites definidos.
- Temperatura fuera del rango de funcionamiento establecido (4–25 °C).
- Diferencial de presión excesivo en cualquiera de las etapas monitorizadas mediante los sensores de presión.
- Fallo de comunicación o pérdida de señal de sensores críticos del sistema.

Por otro lado, la señal lógica **iMantenimientoA** corresponde a condiciones preventivas que indican la necesidad de realizar tareas de mantenimiento o revisión del sistema sin implicar necesariamente una situación de fallo crítico inmediato. La activación de cualquiera de las siguientes condiciones provoca la transición al estado **gsMantenimientoA**:

MODELO DESARROLLADO

- Rendimiento de la lámpara UV inferior al 75 %, que conlleva la activación del diodo naranja asociado.
- Aproximación al fin de vida útil de la lámpara UV (13.000 horas de funcionamiento).
- Incremento progresivo del diferencial de presión en las etapas de bombeo o filtración.
- Tendencia creciente de turbidez en el agua tratada.
- Pérdida progresiva de rendimiento hidráulico del sistema.
- Horas acumuladas de funcionamiento superiores a los intervalos de mantenimiento establecidos.
- Necesidad de sustitución preventiva de filtros o elementos consumibles.
- Desviaciones moderadas en parámetros de proceso sin llegar a niveles críticos de avería.

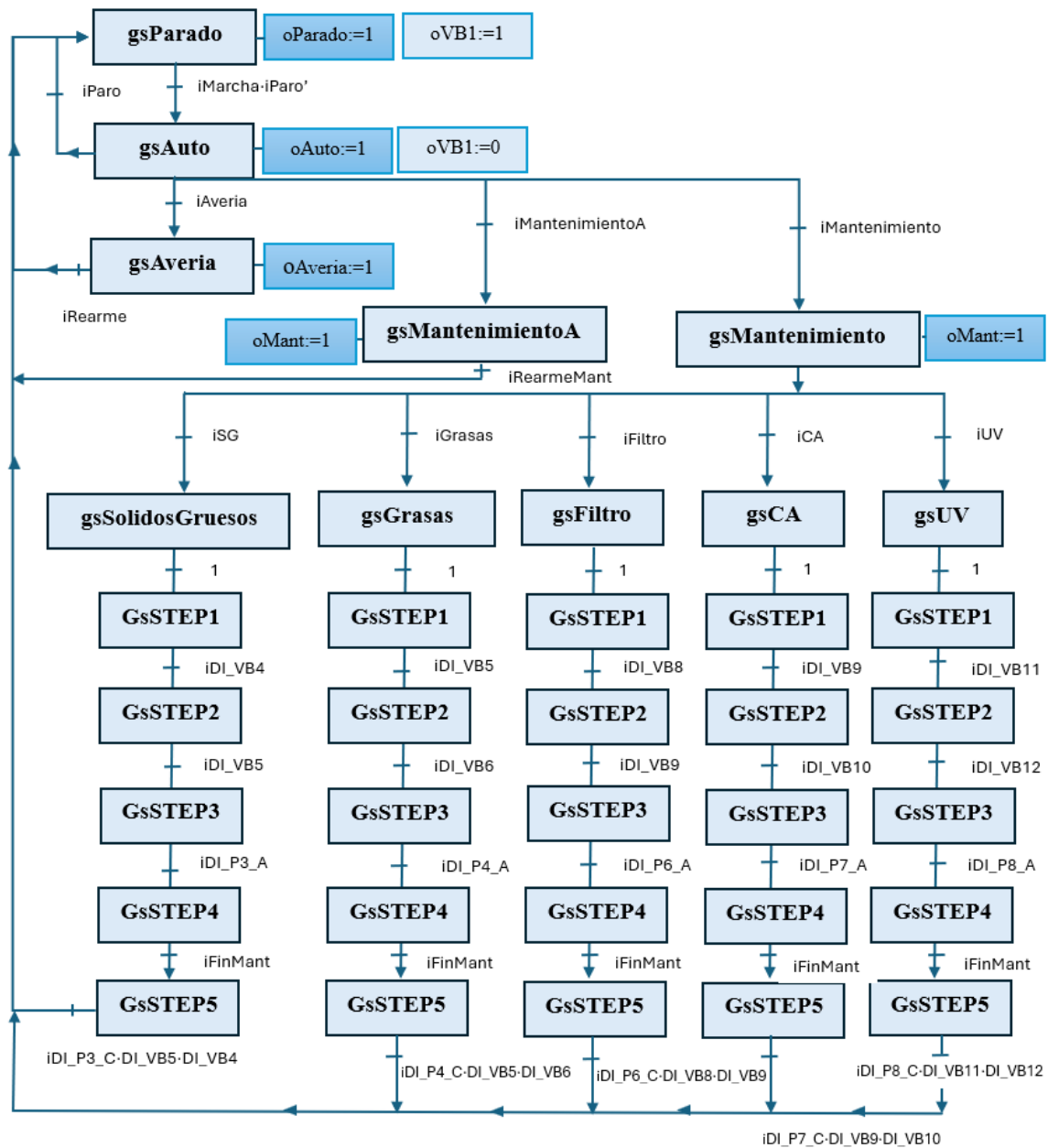


Ilustración 14: GRAFCET de control secuencial del sistema de tratamiento
Elaboración Propia

Interfaz HMI

Las siguientes ilustraciones muestran una representación conceptual de la interfaz HMI para el operario, desarrollada para la supervisión y operación del sistema de tratamiento de agua en tiempo real. Estas pantallas han sido generadas mediante herramientas de inteligencia artificial con el objetivo de simular de forma visual la interacción entre el operario y el sistema de control basado en PLC. Esto permite representar los distintos estados de funcionamiento, supervisión y mantenimiento contemplados en la arquitectura de automatización propuesta

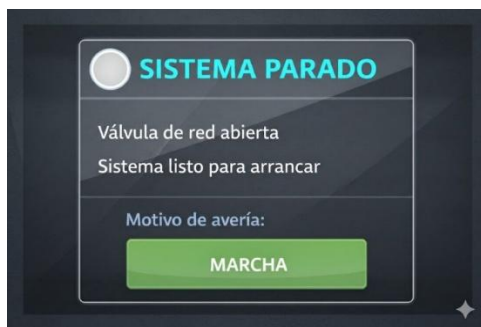


Ilustración 16: Pantalla de arranque y paro

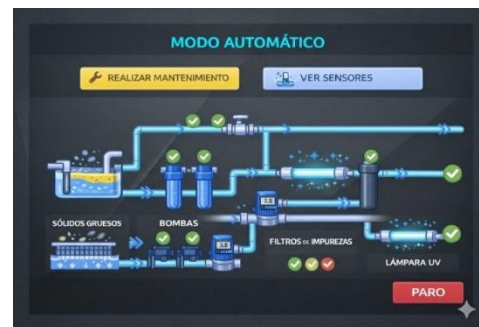


Ilustración 15: Pantalla de operación automática



Ilustración 17: Pantalla supervisión de parámetros

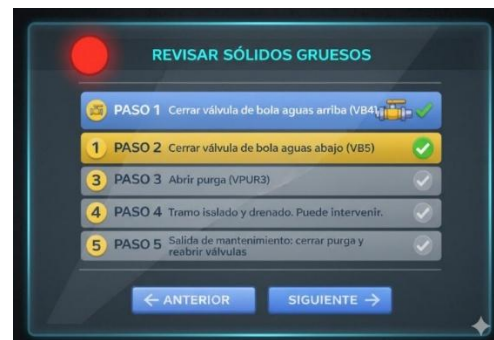


Ilustración 18: Pantalla de procedimiento guiado de mantenimiento



Ilustración 19: Pantalla de selección de mantenimiento manual



Ilustración 20. Pantalla de avería y parada de seguridad

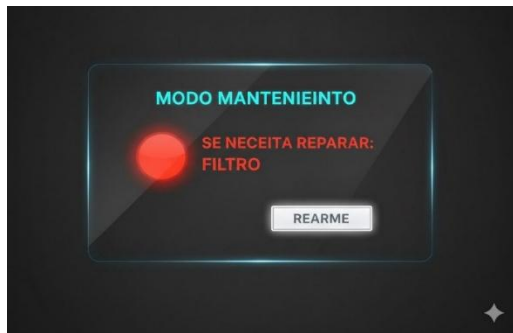


Ilustración 21: Pantalla de aviso de mantenimiento requerido

5.4 ANÁLISIS MODAL DE FALLOS Y EFECTOS (FMEA)

El análisis de modos de fallo y efectos (FMEA) se ha empleado como herramienta sistemática para identificar, y priorizar los fallos potenciales del sistema de tratamiento de agua. De esta forma, se permite definir las medidas de control y las acciones correctivas necesarias para asegurar una operación alineada con los requisitos del proceso. El FMEA desarrollado para el sistema se puede ver en la Tabla 16, donde se recogen los principales modos de fallo asociados a cada uno de los elementos del proceso, además de sus efectos, causas y medidas de control implementadas para mitigar el impacto y riesgo del sistema de agua en el proceso principal.

La estructura de la tabla permite organizar la información de manera secuencial, comenzando por la identificación del elemento analizado, así como en la etapa en la que se encuentra, mediante el nombre de pieza, su referencia y su función dentro del sistema. A

continuación, se recoge el modo de fallo potencial y su efecto asociado, que en el caso del sistema desarrollado se relaciona principalmente con incumplimientos sanitarios o degradación de la calidad del agua tratada. El símbolo ∇ se emplea para señalar aquellos modos de fallo considerados críticos, generalmente asociados a efectos de elevada gravedad o impacto directo en el cumplimiento normativo del sistema (Conde, s.f.).

Para cada modo de fallo se realiza una evaluación cuantitativa del riesgo basada en tres parámetros: la ocurrencia (O), la gravedad (G) y la detección (D), todos midiéndose en una escala de 1 a 10, donde los valores bajos indican una probabilidad remota y los valores altos una alta frecuencia esperada. La ocurrencia representa la probabilidad de que el fallo tenga lugar. La gravedad mide la severidad del efecto del fallo sobre el sistema. Finalmente, la detección evalúa la capacidad del sistema para identificar el fallo antes de que se materialice su efecto (Conde, s.f.).

A partir de estos tres parámetros se calcula el número de prioridad de riesgo (NPR), definido como el producto de las tres variables. Este indicador permite establecer una jerarquía entre los distintos modos de fallo y priorizar las acciones correctivas en función de su criticidad, constituyendo una herramienta clave para la toma de decisiones dentro del diseño del sistema (Conde, s.f.).

$$NPR = O \cdot G \cdot D$$

Ecuación 4: Número de prioridad de riesgo

La tabla incluye asimismo las condiciones existentes, donde se detallan los controles actuales tanto de prevención como de detección, como pueden ser estrategias de mantenimiento preventivo o monitorización de parámetros de proceso. Sobre esta base, se definen las acciones y estados recomendados orientados a reducir el riesgo asociado a cada fallo, tales como la implementación de alarmas, la mejora de los planes de mantenimiento o la modificación de la lógica de control. Se identifica además el área o responsable encargado de llevar a cabo dichas acciones, en este caso principalmente el ámbito de automatización y mantenimiento del sistema.

MODELO DESARROLLADO

Por último, en la Tabla 16 se recogen los resultados tras la aplicación de las acciones propuestas, incluyendo la acción emprendida y una reevaluación de los parámetros de ocurrencia, gravedad y detección, para poder obtener un nuevo NPR y verificar la reducción del riesgo conseguida y facilitar así una priorización final de los modos de fallo.

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes					Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados					
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D	NPR			Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Reactor UV	10	Desinfección microbiológica del agua	Pérdida de intensidad UV	Incumplimiento sanitario	∇	Ensuciamiento, llegando al final de vida útil	Mantenimiento preventivo	3	10	2	60	Mantener umbral de aviso previo, stock mínimo de recambio	Automat. y Manten	Programación de parada por horas límite	2	10	1	20	19
Reactor UV	10	Desinfección microbiológica del agua	Suciedad	Incumplimiento sanitario	∇	Ensuciamiento	diodo naranja y rojo	2	10	9	180	Control diario y limpieza y respuesta ante avisos	Automat. y Manten	Operario al iniciar la jornada limpie	1	10	1	10	21
Reactor UV	10	Desinfección microbiológica del agua	lámpara agotada	Incumplimiento sanitario	∇	Fin de vida útil,	Control de turbidez previo, pretratamiento, mantenimiento preventivo	4	10	4	160	Interbloqueo; el sistema pasa a estado de alarma y no permite la salida	Automat. y Manten	Alarma preventiva en HMI	3	10	2	60	1

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes				Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados						
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D			NPR	Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Separación de Sólidos gruesos	4	Retener sólidos gruesos para proteger bombas y filtros posteriores	Obstrucción por acumulación	pérdida de caudal/aumento de pérdidas de carga, paro por falta de caudal, cavitación de bombas, activación de alarmas, incumplimiento sanitario	-	Entrada elevada de sólidos, frecuencia de limpieza insuficiente, ausencia de purga	Inspección y limpieza periódica, monitorización de caudal, turbidez	5	7	3	105	Añadir criterio de alarma si el caudal sale de un umbral, añadir frecuencia mínima de limpieza	Automat. y Manten	Alarma de caída por caudal + checklist de limpieza	4	7	2	56	2
Separación de grasas	5	Retener grasas y aceites	Colmatación, saturación	pérdida de caudal/aumento de pérdidas de carga, paro por falta de caudal, cavitación de bombas, activación de alarmas, incumplimiento sanitario	-	Frecuencia de vaciado, limpieza insuficiente	Mantenimiento preventivo y monitorización de caudal	5	7	3	105	Definir frecuencia mínima de vaciado, alarma por caudal fuera de umbral	Automat. y Manten	Alarma de caída por caudal + checklist de limpieza	4	5	2	40	8

MODELO DESARROLLADO

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes				Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados						
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D			NPR	Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Filtración	7	Retención progresiva de partículas finas	Colmatación o saturación de uno o varios cartuchos, rotura o mala colocación	Caída de caudal, sobrepresión aguas arriba, aumento de turbidez aguas abajo	-	Carga de sólidos superior al diseño, vida excedida, picos de turbidez	Monitorización caudal y turbidez, sensores de presión, lógica grafct	6	8	2	96	definir umbral de presión, caudal, stock mínimo de cartuchos	Automat. y Manten	Alarmas de presión, turbidez, parada segura del sistema, aviso de alarma	3	8	1	24	18
Filtro de CA	8	Eliminar el cloro residual	Agotamiento del cartucho CA	Cloro residual a la salida, posible incumplimiento sanitario	∇	Vida útil excedida	Sustitución periódica programa, monitorización de cloro	5	9	2	90	Definir criterio de sustitución por tiempo y por volumen tratado, alarma preventiva	Automat. y Manten	Alarma de mantenimiento en HMI, sustitución por volumen	4	7	2	56	3
Filtro de CA	8	Eliminar el cloro residual	Mal montaje	Cloro no eliminado, incumplimiento sanitario	∇	Montaje incorrecto	Checklist e inspección visual, monitoreo de cloro residual	3	9	2	54	Verificación tras mantenimiento	Automat. y Manten	Checklist de cloro y montaje correcto	2	7	2	28	14
Sensor de Turbidez	9,1	Monitorizar la turbidez	Lectura errónea	lectura errónea; paso a gsAlarma, paradas innecesarias	-	Ensuciamiento, fallo electrónico, instalación incorrecta	Calibración periódica, lectura en HMI	4	8	4	128	Rutina de limpieza, condición diferente de sensor inválido a turbidez alta	Automat. y Manten	Programación de incoherencias, Detección de mantenimiento automático con Grafct, señal electrónica monitorizada por el PLC	3	8	2	48	4

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes				Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados						
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D			NPR	Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Sensor de Caudal	9,2	Monitorizar caudal 200-340 l/h	Pérdida de señal, lectura errónea	Alarmas, visualización en HMI, Paradas innecesarias	-	Fallo electrónico, instalación incorrecta	Calibración periódica, lectura en HMI	3	8	3	72	Diferente alarma de fallo sensor a caudal alto/bajo, mantenimiento preventivo	Automat. y Manten	Programación de incoherencias, Detección de mantenimiento automático con Grafset, señal electrónica monitorizada por el PLC	3	8	2	48	5
Sensor de Conductividad	9,3	Monitorizar conductividad para control de calidad	Lectura errónea, fallo de calibración	Lecturas incoherentes, alarmas injustificadas, paradas		Fallo electrónico, instalación incorrecta	Calibración periódica, lectura en HMI	3	7	4	84	Diferente alarma de sensor inválido a conductividad baja/alta	Automat. y Manten	Detección de mantenimiento automático. Señal electrónica monitorizada por el PLC	2	7	2	28	15
Sensor de pH	9,4	Monitorizar pH para asegurar calidad	Lectura errónea, fallo de calibración	Lectura incoherente, alarmas injustificadas, paradas		Fallo electrónico, instalación incorrecta	Calibración periódica, lectura en HMI	4	7	4	112	Registro de calibración	Automat. y Manten	Sustitución programada, detección de mantenimiento automático, señal electrónica monitorizada por el PLC	3	7	2	42	7

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes				Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados						
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D			NPR	Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Sensor de cloro residual	9,5	Monitorizar cloro residual para asegurar calidad	Lectura errónea, fallo de calibración	Lectura incoherente, alarmas injustificadas, paradas		Fallo electrónico, instalación incorrecta	Calibración periódica, lectura en HMI	4	8	4	128	Registro de calibración	Automat. y Manten	Sustitución programada, detección de mantenimiento automático, señal electrónica monitorizada por el PLC	3	8	2	48	6
Sensor de temperatura	9,6	Monitorizar temperatura para asegurar condiciones diseño	Lectura errónea, fallo de calibración	Lectura incoherente, alarmas injustificadas, paradas		Fallo electrónico, instalación incorrecta	Calibración periódica, lectura en HMI	2	6	3	36	Registro de calibración	Automat. y Manten	Sustitución programada, detección de mantenimiento automático, señal electrónica monitorizada por el PLC	2	6	2	24	17
Bomba A	6,1	Impulsar el caudal hacia el tren de tratamiento	No arranque o fallo eléctrico	Caudal insuficiente, alarma de caudal, conmutación a bomba B		Fallo motor, alimentación	Lógica de redundancia: arranque automático de B, Alarmas	3	8	2	48	Alternancia de A/B por horas	Automat. y Manten	Alternancia, sistema redundante y detección de fallo	2	8	1	16	
Bomba B	6,2	Garantizar continuidad de caudal	Bomba de reserva no arranca	No se recupera el caudal, paro del sistema	∇	Fallo por falta de uso, fallo eléctrico	Alarmas HMI, parada segura del sistema	3	9	3	81	prueba periódica	Automat. y Manten	Mantenimnet preventivo, sistema purga	2	6	2	24	16

MODELO DESARROLLADO

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes				Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados						
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D			NPR	Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Bomba C	6,1	Impulsar el caudal hacia la máquina de llenado	No arranque o fallo eléctrico	Caudal insuficiente, alarma de caudal, conmutación a bomba B		Fallo motor, alimentación	Lógica de redundancia: arranque automático de B, Alarmas	3	8	2	48	Alternancia de C/D por horas	Automat. y Manten	Alternancia, sistema redundante	2	8	1	16	20
Bomba D	6,2	Garantizar continuidad de caudal	Bomba de reserva no arranca	No se recupera el caudal, paro del sistema	∇	Fallo por falta de uso, fallo eléctrico	Alarmas HMI, parada segura del sistema	3	9	3	81	prueba periódica	Automat. y Manten	Mantenimiento preventivo, sistema purga	2	9	2	36	10
Válvulas de purga	1-9	Vaciar el tramo de tubería aislado	No apertura, no cierre, apertura imprevista, pérdida de señal, fallo final de carrera	Imposibilidad de vaciar tramo o derrame, falsa confirmación de posición	-	Actuador averiado, fallo de alimentación, atasco mecánico, lógica de control incorrecta	Grafcet, alarmas, lógica de control	3	8	4	96	Implementar timeout de maniobra, interbloqueo: purga solo permitida cuando las válvulas de bola de aislamiento están cerradas	Automat. y Manten	Interbloqueos, timeout, purga general por la válvula 9 a red en caso de bloqueo	2	8	2	32	11
Válvulas de paso	1 y 3	Redirigir el flujo hacia bomba de reserva	No cambio de posición al detectar rotura, posición intermedia, cambio erróneo sin necesidad	No entra bomba de reserva, flujo mal dirigido	∇	Actuador averiado, fallo de alimentación, atasco mecánico, lógica de control incorrecta	Grafcet, alarmas, lógica de control	3	9	3	81	timeout de maniobra, feedback de posición	Automat. y Manten	Interbloqueos, timeout, válvula de purga (8 o la 4)	2	9	2	36	9

Nombre de pieza	Ref. de pieza	Función de pieza	Modo de fallo potencial	Efecto potencial del fallo	∇	Causa potencial del fallo	Condiciones existentes					Acción y estado recomendados	Área / ingeniero responsable de acción correctiva	Resultados					
							Controles actuales (Prevención / Detección)	O	G	D	NPR			Acción emprendida	O	G	D	NPR	Número de prioridad de riesgo
Válvulas de paso	2	Desviar el agua a desagüe cuando se detecta fallo de calidad o rotura de equipo	No abre cuando debe o abre sin necesidad	Recircular agua no conforme, y si abre erróneamente, perder agua de proceso	∇	Actuador averiado, fallo de alimentación, atasco mecánico, lógica de control incorrecta	Grafcet, alarmas, lógica de control	3	9	2	54	Interbloqueo lógico: si válvula 2 abierta, válvula 1 azul de entrada a red abierta, feedback de posición	Automat. y Manten	Interbloques, timeout, válvula de purga 8	2	7	2	28	12
Válvulas de bola	1--15	Aislar tramos de tubería	No cierre completo, no apertura, fuga, posición incorrecta	Imposibilidad de aislar tramo, tramos aislados sin necesidad	-	Actuador averiado, fallo de alimentación, atasco mecánico, lógica de control incorrecta	Grafcet, alarmas, lógica de control	3	7	3	63	Feedback de posición, timeout de maniobra	Automat. y Manten	Interbloques, timeout, aislar tramo mayor de tubería o usar las de purga	2	7	2	28	13

*Tabla 16: Análisis FMEA del sistema de tratamiento de agua
Elaboración Propia*

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.1 VALIDACIÓN TÉCNICA DE LA CALIDAD DEL AGUA

La validación del sistema se realiza mediante contraste normativo, selección técnica de equipos, simulación/estimación económica y análisis funcional del control. No se incluye una prueba experimental real. el diseño del sistema se basa en cumplir los requisitos de calidad para su reutilización en entornos industriales, adoptando como criterio la calidad Ia.A+ regulada por el Real Decreto 1085/2024 y el Real Decreto 3/2023. La validación técnica se apoya, por tanto, en la combinación secuencial de diferentes etapas, barreras físicas y la elección de la dosis suministrada en la etapa de desinfección, así como en las medidas de seguridad y automatización implementadas en el proceso.

En concreto, la etapa de desinfección mediante radiación ultravioleta constituye el elemento clave para la inactivación microbiológica. La potencia de la lámpara seleccionada de unos 40 mJ/cm, permite asegurar una dosis de radiación suficiente para reducir microorganismos patógenos y por consiguiente, cumplir con los límites exigidos en el Real Decreto. Además, este comportamiento se ve reforzado por la existencia de etapas previas de filtración y eliminación de sólidos, que reducen la turbidez del agua y fomentan una adecuada transmitancia de la radiación UV.

Adicionalmente, la monitorización continua de parámetros críticos como la turbidez, el pH, la conductividad o el caudal permite verificar en tiempo real el estado del proceso en todo momento, y asegurar que en caso de que alguno de estos parámetros se desvíe de los rangos establecidos, el sistema reaccione de forma automática mediante la generación de alarmas, la parada controlada del proceso o el desvío del agua fuera de especificación, evitando su reutilización e integración al proceso principal. Este mecanismo introduce una capa adicional de seguridad operativa, ya que colabora a asegurar que el agua cumple los requisitos de calidad es recirculada al proceso y potencia el éxito del Objetivo 1 que se estableció al empezar este Proyecto.

6.2 DESEMPEÑO OPERATIVO Y FIABILIDAD DEL SISTEMA

Desde el punto de vista operativo, uno de los principales resultados y objetivos del proyecto es la incorporación de un sistema de control automatizado que permite gestionar el proceso de tratamiento de forma continua y fiable. La integración de sensores y su conexión a un sistema basado en PLC y HMI posibilita la supervisión en tiempo real de las variables críticas, así como la trazabilidad del funcionamiento del sistema.

Este enfoque permite evolucionar desde un modelo de operación reactivo hacia un modelo basado en mantenimiento predictivo, ya que el sistema es capaz de anticipar la necesidad de intervención antes de que se produzca un fallo crítico. Consecuentemente, se reducen las paradas no programadas y se mejora la disponibilidad y seguridad del sistema. Con la integración de sistemas de autocontrol, monitorización continua y mantenimiento predictivo se da cumplimiento al Objetivo 3 del proyecto, orientado a la implementación de un sistema autocontrolado, monitorizado y con mantenimiento predictivo.

Adicionalmente, el análisis de riesgos realizado mediante metodología FMEA refuerza este planteamiento, al identificar los principales modos de fallo y establecer medidas de mitigación específicas, permitiendo dar cumplimiento al Objetivo 5 del proyecto: minimizar los riesgos del sistema y aportar fiabilidad operativa.

6.3 ANÁLISIS ECONÓMICO Y SENSIBILIDAD DEL MODELO

El análisis económico desarrollado pone de manifiesto que la viabilidad del sistema está directamente condicionada por el régimen de operación y por el coste del recurso hídrico. Los resultados obtenidos en los distintos escenarios evaluados muestran que, a medida que aumenta el número de horas de funcionamiento, mejora la rentabilidad del sistema, al incrementarse el volumen de agua reutilizada y, por tanto, el ahorro generado.

No obstante, el aspecto más relevante del modelo reside además de en los valores absolutos de retorno, en la sensibilidad del sistema frente al precio del agua. En contextos como el español, donde el coste del agua es relativamente bajo, la rentabilidad se alcanza en horizontes temporales más largos. Sin embargo, en entornos geográficos con precios del agua más elevados o con mayor presión sobre los recursos hídricos, el sistema presenta un potencial de rentabilidad superior. En lugar de limitarse a reducir consumo, permite que el proceso productivo dependa menos de cómo evolucione ese precio en el futuro. Este matiz es relevante porque el agua es un recurso cada vez más tensionado. Por tanto, el valor del sistema no está solo en el ahorro actual, sino en su capacidad para anticiparse a escenarios en los que el coste del agua aumente o sea más variable, haciendo el proceso más estable a largo plazo.

Asimismo, el diseño del sistema se ha orientado a la minimización de costes y a la optimización de los recursos empleados, tanto en la selección de equipos como en la definición de la estrategia operativa, dando cumplimiento al Objetivo 4 del proyecto. Este enfoque permite que la propuesta no solo sea técnicamente viable, sino económicamente equilibrada, maximizando el valor generado a lo largo de su ciclo de vida.

6.4 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

A pesar de los buenos resultados obtenidos, el presente trabajo presenta una serie de limitaciones que deben ser consideradas en la interpretación de los resultados. En primer lugar, el sistema se ha validado a nivel de diseño, sin una implementación física real que permita contrastar experimentalmente su comportamiento en condiciones operativas reales y prolongadas en el tiempo.

Por otro lado, el modelo económico se basa en una serie de hipótesis relativas al precio del agua, el coste de la energía y la vida útil de los equipos, que pueden variar en función del contexto específico de aplicación. Por ello, los resultados deben interpretarse como una estimación bajo condiciones determinadas.

Finalmente, la eficacia del sistema depende en gran medida de la calidad del agua de entrada, en todo momento este proyecto está pensado para que el agua de entrada sea agua de red, en la Comunidad de Madrid (ubicación donde se encuentra la fábrica de envasado de leche). Consecuentemente, las variaciones significativas en algunas variables como la carga de sólidos, presencia de contaminantes o condiciones fisicoquímicas en la entrada del sistema podrían requerir ajustes en el diseño.

No obstante, cabe destacar que estas limitaciones no invalidan los resultados obtenidos, sino que ponen de manifiesto la necesidad de futuras fases de validación experimental y adaptación a entornos industriales concretos, dando lugar además a líneas de trabajos futuros y posibilidades de ampliación del sistema desarrollado que se comentan en el siguiente capítulo.

6.5 SÍNTESIS DE LOS RESULTADOS DEL PROYECTO

Objetivo	Evidencia	Resultado	Limitación
Garantizar la calidad del agua reutilizada a nivel de diseño	Diseño de línea multicapa y monitorización de parámetros críticos	Sistema alineado con requisitos de reutilización en base a normativa y control de calidad	No se realizó validación experimental a escala real
Diseñar una solución compacta y modular	Selección de equipos comerciales estándar y diseño sobre carrito	Sistema escalable, mantenible y de fácil integración	Diseño no fabricado físicamente

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Implementar autocontrol y mantenimiento predictivo	Integración PLC, HMI y sensores de proceso	Supervisión continua y generación de alarmas automáticas	Sin validación industrial del sistema de control
Optimizar el coste total de propiedad	Modelo económico con 3 escenarios del CAPEX/OPEX a 10 años	Evaluación de viabilidad económica y costes operativos	Costes estimados sujetos a variaciones de mercado e hipótesis
Aplicar enfoque de ciclo de vida	Análisis de mantenimiento, reposición y disponibilidad de equipos	Mejora de mantenibilidad y sostenibilidad operativa	No se evaluó el fin de vida mediante ACV completo
Evaluar el valor estratégico de la reutilización de agua	Análisis de sostenibilidad y adaptación regulatoria	Identificación de beneficios corporativos y estratégicos	Beneficios indirectos difíciles de cuantificar

*Tabla 17: Síntesis del cumplimiento de objetivos del sistema diseñado
Elaboración Propia*

Capítulo 7. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Conclusiones:

El presente trabajo ha permitido desarrollar una solución integral para el tratamiento y reutilización de agua en entornos industriales, abordando de forma conjunta 5 bloques: diseño de proceso, selección de equipos, automatización, análisis de riesgos y viabilidad económica.

Desde el punto de vista técnico, se ha definido un tren de tratamiento coherente, basado en etapas de pretratamiento, filtración, desinfección y acondicionamiento, utilizando equipos y componentes estándar del mercado, que permite alcanzar los niveles de calidad exigidos por la normativa aplicable en el ámbito alimentario. Este diseño traslada principios propios de instalaciones de gran escala, como las ETAP y EDAR, a una solución compacta que puede ser fácilmente transportable en un carrito y fácilmente ampliable.

En relación con los objetivos planteados inicialmente cuando se planteó este Trabajo de Fin de Máster, se puede concluir lo siguiente:

- Objetivo 1: Garantizar la calidad del agua:

Se ha diseñado un sistema capaz de cumplir los requisitos establecidos por el Real Decreto 1085/2024 y el Real Decreto 3/2023, eligiendo de referencia los requisitos y parámetros establecidos para la calidad máxima Ia. A+, a pesar de ser agua que no se encuentra en contacto directo con los alimentos. Este objetivo se ha conseguido mediante la combinación de etapas específicas como la filtración progresiva, la desinfección UV y control de parámetros clave.

- Objetivo 2: Diseñar una solución fabricable, modular y escalable:

La selección de equipos comerciales estándar ha permitido configurar un sistema reproducible, adaptable y de bajo coste relativo, facilitando su implantación en distintos entornos industriales sin necesidad de soluciones a medida. Además, la solución diseñada ocupa menos de 3 metros cuadrados, lo que minimiza significativamente el impacto visual dentro de la planta. Esta compactibilidad favorece también la movilidad del sistema, ya que puede ser fácilmente transportado en un carrito o plataforma móvil, facilitando su

reubicación según las necesidades operativas. A continuación, se detalla las dimensiones de los equipos que conforman el tren de tratamiento hasta llegar a la superficie total ocupada:

Separador de grasas (1000 L)

Dimensiones: 1,70 m × 0,77 m

Superficie: 1,31 m²

Bombas de impulsión (2 unidades en paralelo)

Dimensiones estimadas bancada: 0,60 m × 0,60 m

Superficie: 0,36 m²

Carcasa triple de filtración

Dimensiones: 0,59 m × 0,185 m

Superficie: 0,11 m²

Depósito auxiliar (50 L)

Dimensiones estimadas: 0,35 m × 0,35 m

Superficie: 0,12 m²

Prefiltro de sólidos gruesos

Dimensiones estimadas: 0,30 m × 0,30 m

Superficie: 0,09 m²

Filtro de carbón activo (cartucho)

Dimensiones: 0,08 m × 0,08 m

Superficie: 0,006 m²

Armario PLC + HMI

Dimensiones estimadas: 0,40 m × 0,30 m

Superficie: 0,12 m²

Lámpara UV:

Al ser tubular la lámpara UV, no se considera para el cálculo de la superficie ya que su ocupación es despreciable en comparación con el resto de los equipos.

TOTAL 2,1 m²

Para operación y mantenimiento: **3 m²**.

- Objetivo 3: Implementar autocontrol, monitorización y mantenimiento predictivo:

Se ha definido una arquitectura de control basada en PLC y HMI, alineada con la guía GEMMA, que permite la supervisión en tiempo real y la interacción del operario con el sistema para facilitar la gestión de alarmas, los modos de funcionamiento y la anticipación de fallos mediante el análisis de variables de proceso.

- Objetivo 4: Optimizar el coste total de propiedad:

Desde el inicio del proyecto, se ha procurado la selección de equipos económicos para reducir los costes de inversión, a la vez que se ha asegurado la calidad de los mismos para optimizar los costes de mantenimiento durante los 10 años de vida útil del proyecto. Para el modelo económico, se han planteado 3 escenarios de operación distintos con el objetivo de demostrar que la viabilidad del sistema depende de forma significativa del precio del agua y del régimen de operación de la planta, evidenciando que la reutilización adquiere mayor valor en escenarios de uso intensivo. Los resultados muestran que en los casos de operación continua y de 3 turnos, el tren de tratamiento tiene gran potencial de retorno económico, con unos *paybacks* de 4 y 9 años respectivamente. Además, los flujos de caja estimados alcanzan los 20.000 € para operación continua y se aproximan a cero en el escenario de tres turnos, representando este último el umbral mínimo para alcanzar la rentabilidad.

Asimismo, el análisis económico pone de manifiesto que el sistema no solo actúa como un mecanismo de ahorro, sino como una herramienta de gestión del riesgo asociado al coste del agua, permitiendo estabilizar el coste operativo en contextos de incertidumbre económica.

- Objetivo 5: Reducir los riesgos del sistema:

La aplicación de la metodología FMEA ha permitido identificar los principales modos de fallo y establecer medidas de mitigación, incrementando la robustez del diseño y reduciendo el riesgo operativo.

En particular, ha permitido vincular modos de fallo con variables monitorizadas en tiempo real, como la turbidez o el rendimiento de la lámpara UV, facilitando la detección temprana de desviaciones y la activación de respuestas automáticas del sistema ante ellas. De este

modo, se evoluciona hacia un enfoque preventivo, en el que el sistema es capaz de anticipar fallos antes de que ocurran. Adicionalmente, la combinación del análisis FMEA con el sistema de automatización implementado, permite además de mitigar riesgos, priorizar las acciones de mantenimiento en función del nivel de criticidad. La lógica de control utilizada, alineada con la guía GEMMA, protege ante cualquier desviación relevante o condición de fallo el sistema, haciendo que este transite a modos de funcionamiento seguros como la parada controlada o el aislamiento de equipos afectados.

Más allá del cumplimiento de los objetivos, una de las principales aportaciones del trabajo es demostrar que el tratamiento de agua puede concebirse como una infraestructura centralizada, y como un elemento integrado en el propio proceso productivo. En línea con esto, el sistema desarrollado se diferencia de soluciones tradicionales, como las grandes instalaciones de tratamiento (ETAP y EDAR) o desalación, en su escala, flexibilidad e integración, ya que este diseño está pensado para operar directamente en el punto de consumo, prescindiendo de la necesidad de incorporar infraestructuras auxiliares complejas. En conjunto, el trabajo aporta una visión integrada que combina ingeniería de procesos, automatización industrial y análisis económico, proponiendo una solución técnicamente viable y alineada con los retos actuales de sostenibilidad industrial.

Trabajos Futuros:

A partir del desarrollo realizado, se identifican 5 líneas de trabajo que permitirían ampliar y consolidar la solución propuesta.

En primer lugar y siguiendo en línea con el proyecto desarrollado, la ampliación más seguida sería realizar una validación experimental del sistema en entorno industrial real, que permita contrastar el comportamiento del modelo con datos operativos y ajustar parámetros de diseño.

Asimismo, otra ampliación interesante sería la optimización del control del sistema, incorporando algoritmos avanzados de mantenimiento predictivo o estrategias de control adaptativo basadas en el comportamiento dinámico de las variables de proceso.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La tercera línea de mejora consiste en el análisis de escalabilidad del sistema, evaluando su adaptación a diferentes rangos de caudal o su integración en otros sectores industriales más allá del alimentario y compatibles con otras máquinas y procesos.

Desde el punto de vista económico, sería interesante ampliar el modelo incorporando escenarios que consideren la variabilidad del precio del agua (según el país) y de la energía, así como posibles incentivos regulatorios asociados a la reutilización de recursos. Esto se debe a que, dado que el precio del agua puede variar significativamente según el país o la región, este factor cobra una gran relevancia en la evaluación de la rentabilidad del sistema. Por lo tanto, incluir en el modelo económico diferentes contextos geográficos con sus respectivas tarifas permitirá obtener una visión más precisa y realista de la viabilidad financiera del proyecto, y ayudará a identificar las condiciones bajo las cuales la solución resulta más atractiva desde el punto de vista económico

Por último, en lo que respecta a la parte de automatización, se plantea la posibilidad de integrar el sistema dentro de arquitecturas digitales más amplias, mediante su conexión a plataformas SCADA o sistemas de gestión industrial, permitiendo una supervisión centralizada y la explotación de datos a mayor escala

Capítulo 8. LISTA DE REFERENCIAS

Alvarado Granados, J. F., & Ramos Villanueva, J. E. (2010). *Estado del arte de las estructuras: trampas de grasa y desarenadores en sistemas de alcantarillado* (Trabajo de grado). Universidad de La Salle, Facultad de Ingeniería Civil, Bogotá D.C.

BBVA. (2024, 15 de abril). *ROI: qué es el retorno de la inversión y cuál es su fórmula*. <https://www.bbva.com/es/empresas/roi-que-es-el-retorno-de-la-inversion-y-cual-es-su-formula/>

BBVA. (2025, julio). *Guía de finanzas para no financieros: interés compuesto*. <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/guia-de-finanzas-para-no-financieros-interes-compuesto/>

BBVA Research. (2025). *Situación España. Diciembre 2025*. BBVA. <https://www.bbva.com/es/salud-financiera/guia-de-finanzas-para-no-financieros-interes-compuesto/>

BBVA. (2025). *¿Cómo calcular el periodo de recuperación de una inversión (payback)?* BBVA Educación Financiera.

<https://www.bbva.com/es/salud-financiera/guia-de-finanzas-para-no-financieros-interes-compuesto/>

Cledera Castro, M. del M., Morales Polo, C., & Hueso Kortekaas, K. (s. f.). *Ingeniería del agua y contaminación. Tema 2: Potabilización*. Universidad Pontificia Comillas

Conde, V. (s.f.). *FMEA – Lean Manufacturing*. Empresa Lean.

Domínguez, E., Giorgi, A., & Gómez, N. (2020). *La bioindicación en el monitoreo y evaluación de los sistemas fluviales de la Argentina: Bases para el análisis de la integridad ecológica*. Editorial Universitaria de Buenos Aires (EUDEBA). Extraído de: https://remaqua.conicet.gov.ar/download/libro/La-Bioindicacion-en-el-monitoreo-y-evaluacion-de-los-sistemas-fluviales-de-la-Argentina_compressed.pdf

Dyna. (2009). *Potabilización de agua para consumo. Tratamiento estándar*. Revista Facultad Nacional de Minas, 76(160), Medellín.

EPA. (2006). *Ultraviolet Disinfection Guidance Manual for the Final Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule*. U.S. Environmental Protection Agency. <https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-10/ultraviolet-disinfection-guidance-manual-2006.pdf>

Environmental Protection Agency. (2020). *Water treatment manual: Filtration*. EPA.

Gobierno de España. (2024). *Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua* (BOE-A-2024-21701). Boletín Oficial del Estado, núm. 257, p. 36. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2024/BOE-A-2024-21701-consolidado.pdf>

Gobierno de España. (2023). *Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro*. Boletín Oficial del Estado.

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2023/BOE-A-2023-628-consolidado.pdf>

Lobos, G., Vallejos, O., Caroca, C., & Marchant, C. (2005). *El mercado de los bonos de carbono (“bonos verdes”): Una revisión*. RIAT Revista Interamericana de Ambiente y Turismo, 1.

<10-44-1-PB-libre.pdf>

Olmedo Sánchez, T. (2008). *Subproductos de la desinfección del agua por el empleo de compuestos de cloro. Efectos sobre la salud*. Higiene y Sanidad Ambiental, 8, 335–342

[https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018bc59c356_Hig.Sanid_Ambient.8.335-342\(2008\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc51018bc59c356_Hig.Sanid_Ambient.8.335-342(2008).pdf)

Operador del Mercado Ibérico de la Energía (OMIE). (2026). *Datos del mercado diario de electricidad*. <https://www.omie.es>

Ordóñez Maldonado, J. D., & Pesantez Márquez, W. E. (2017). La filtración gruesa, aplicada al tratamiento de aguas superficiales. Universidad de Cuenca, Ecuador.

<https://rest-dspace.ucuenca.edu.ec/server/api/core/bitstreams/9cb2a8f3-d69e-4981-b241-9ed363a2ef2a/content>

Organización Mundial de la Salud. (2024, marzo). Saneamiento. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-a). *ODS 9: Industria, innovación e infraestructura*.

<https://www.pactomundial.org/ods/9-industria-innovacion-e-infraestructura/>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-b). *ODS 6: Agua limpia y saneamiento*.

<https://www.pactomundial.org/ods/6-agua-limpia-y-saneamiento/>

Pacto Mundial de las Naciones Unidas. (s. f.-c). *ODS 12: Producción y consumo responsables*.

<https://www.pactomundial.org/ods/12-produccion-y-consumo-responsables/>

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea. (2020). *Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua*. Diario Oficial de la Unión Europea.

<https://www.boe.es/doue/2020/177/L00032-00055.pdf>

Pietrobon Tarrán, E. (2002). *Desinfección por luz ultravioleta*. Material docente, nivel intermedio. [5 Luz UV Desinfeccion-libre.pdf](5_Luz_UV_Desinfeccion-libre.pdf)

Rodríguez, M. J., Rodríguez, G., Sérodes, J., & Sadiq, R. (2007). *Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación*. Interciencia, 32(11).

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007001100007

Rodríguez Mondéjar, J. A. (2024). *Plantillas: GEMMA y PackML*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Rodríguez Mondéjar, J. A. (2024). *Tecnologías para la automatización: Automatismos programados (PLC)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas.

Romero, M. (s.f.). Tratamientos utilizados en potabilización de agua (Boletín Electrónico No. 08). Facultad de Ingeniería, Universidad Rafael Landívar, Guatemala.
https://fgsalazar.net/LANDIVAR/ING-PRIMERO/boletin08/URL_08_ING02.pdf

Serrano-Sanz, J. M. (2017). El precio del agua en las ciudades: efectos del modelo de gestión. Papeles De Economía Española.
https://www.academia.edu/40335871/EL_PRECIO_DEL_AGUA_EN_LAS_CIUDADES_EFECTOS_DEL_MODELO_DE_GESTI%C3%93N

Tennessee Department of Environment and Conservation (TDEC). (201). *Introduction to water treatment*. Fleming Training Center.
https://www.tn.gov/content/dam/tn/environment/water/ftc/references/study-guides/ftc_study-301_intro-wt-1.pdf

Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica, Facultad de Ingeniería Química y Petroquímica. (2019). *Sistemas de filtración: Marco teórico y fundamentos de la separación sólido-fluido*. Ica, Perú.
<https://repositorio.unica.edu.pe/server/api/core/bitstreams/133061df-ed3d-4242-bda4-95e2ee51c1b6/content>

Wright, H. B., & Cairns, W. L (s.f.). *Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta*. Trojan Technologies Inc., Ontario, Canadá.
<https://www.elaguapotable.com/Desinfeccion%20de%20agua%20UV%20Trojan%20Thenologies.pdf>

ANEXO I: MODELO DE CÁLCULO Y ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO

El modelo de cálculo desarrollado en Excel recoge el dimensionamiento del sistema, el análisis económico y la evaluación de riesgos mediante FMEA.

Se estructura en varias hojas que incluyen los datos de entrada, los cálculos intermedios y los resultados finales (ROI, periodo de retorno y análisis por escenarios). Por limitaciones de formato, el archivo completo se incluye mediante el siguiente enlace:

[Modelo técnico-económico y de dimensionamiento del sistema de tratamiento.xlsx](#)

ANEXO II: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS

ANEXO II: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS


CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL DEPÓSITO AUXILIAR.

Ref.	Vol (litros)	Diam (mm)	Largo (mm)	Alto (mm)	Tapa (mm)
DSD50	50	360	-	690	125
DHS100	100	480	-	725	125
DHE200	200	570	-	1010	125
DHE300	300	610	-	1170	125
DHE500	500	750	-	1320	220
DSD1250	1250	1130	-	1620	400

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS LÁMPARA UV:

Características técnicas

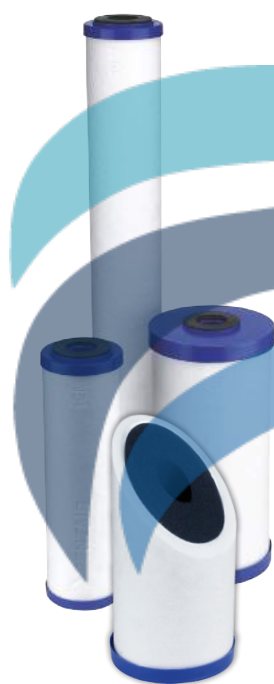
Modelo	BIO UV Home 2	BIO UV Home 3	Estación BIO-UV Home 2.2 m3/h + 2 Filtros	Estación BIO-UV Home 2.2 m3/h + 3 Filtros	Estación BIO-UV Home 3.2 m3/h + 2 Filtros	Estación BIO-UV Home 3.2 m3/h + 3 Filtros
Caudal Máx a 40mJ/cm²	2,2 m3/h	3,2 m3/h	2,2 m3/h	2,2 m3/h	3,2 m3/h	3,2 m3/h
Reactor	inox	inox	inox	inox	inox	inox
Volumen	1,9 l	3,5 l	1,9 l	1,9 l	3,5 l	3,5 l
Conectividad	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
Caja eléctrica	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado	Aluminio anodizado
Longitud cable caja/reactor	70cm	70cm	70cm	70cm	70cm	70cm
Balasto	electrónico	electrónico	electrónico	electrónico	electrónico	electrónico
Contador horario	electromecánico	electromecánico	electromecánico	electromecánico	electromecánico	electromecánico
Protection	fusible 1A	fusible 1A	fusible 1A	fusible 1A	fusible 1A	fusible 1A
Alimentación	230V	230V	230V	230V	230V	230V
Lámparas UV	1	1	1	1	1	1
Potencia eléctrica	33W	55W	33W	33W	55W	55W
Potencia UV	8,5 W	17,5 W	8,5 W	8,5 W	17,5 W	17,5 W
Longevidad de las lámparas	13000 h	13000 h	13000 h	13000 h	13000 h	13000 h

Contar	Descripción
1	<p data-bbox="236 376 518 409">CR 1-4 A-FGJ-A-E-HQQE</p> <div data-bbox="371 416 475 752" style="text-align: center;">  </div> <p data-bbox="627 723 1066 745" style="text-align: center;">Advierta! la foto puede diferir del actual producto</p> <p data-bbox="236 757 443 790">Código: 93391390</p> <p data-bbox="236 831 1453 976">Bomba centrífuga multietapa para instalación vertical con puertos de aspiración y de descarga al mismo nivel (en línea). El cabezal de la bomba y la base están fabricados en fundición; todas las demás piezas destinadas al contacto con el líquido están fabricadas en acero inoxidable. Un cierre mecánico de cartucho garantiza la máxima fiabilidad, permite llevar a cabo la manipulación de forma segura y facilita el acceso y el mantenimiento. La transmisión de potencia tiene lugar por medio de un acoplamiento dividido. La conexión de las tuberías se lleva a cabo por medio de bridas DIN-ANSI-JIS.</p> <p data-bbox="236 999 1453 1021">La bomba está equipada con un motor asíncrono de 3 fases, refrigerado por ventilador y montado sobre soportes.</p> <p data-bbox="236 1093 320 1115">Líquido:</p> <p data-bbox="236 1122 655 1144">Líquido bombeado: Agua</p> <p data-bbox="236 1160 767 1182">Rango de temperatura del líquido: -20 .. 120 °C</p> <p data-bbox="236 1196 874 1218">Temperatura del líquido durante el funcionamiento: 20 °C</p> <p data-bbox="236 1232 727 1254">Densidad: 998.2 kg/m³</p> <p data-bbox="236 1305 320 1328">Técnico:</p> <p data-bbox="236 1335 699 1357">Velocidad predeterminada: 2873 rpm</p> <p data-bbox="236 1370 687 1393">Caudal nominal: 1.8 m³/h</p> <p data-bbox="236 1406 671 1429">Altura nominal: 20.3 m</p> <p data-bbox="236 1442 679 1464">Orientación de bomba: Vertical</p> <p data-bbox="236 1478 667 1500">Disp. de cierre: Single</p> <p data-bbox="236 1514 671 1536">Cierre primario: HQQE</p> <p data-bbox="236 1550 671 1572">Código del cierre: HQQE</p> <p data-bbox="236 1585 919 1608">Homologaciones: CE,EAC,UKCA,SEPRO,RCM,</p> <p data-bbox="236 1621 783 1644">Homologaciones para agua potable: WRAS,ACS</p> <p data-bbox="236 1657 791 1680">Tolerancia de curva: ISO9906:2012 3B</p> <p data-bbox="236 1738 352 1760">Materiales:</p> <p data-bbox="236 1767 715 1789">Nomenclatura, código de los materiales: A</p> <p data-bbox="236 1803 1110 1825">Nomenclatura, código de los componentes de caucho. E = EPDM, V = FPM: E</p> <p data-bbox="236 1839 831 1939">Base: Cast iron EN 1561 EN-GJL-200 ASTM A48-25B</p> <p data-bbox="236 1953 775 2054">Impulsor: Acero inoxidable EN 1.4301 AISI 304</p> <p data-bbox="236 2067 639 2089">Rodamiento: SIC</p>

Contar	Descripción
1	<p>Instalación:</p> <p>Temperatura ambiente máxima: 60 °C</p> <p>Presión de trabajo máxima: 25 bar</p> <p>Presión máxima a la temp. declarada: 25 bar / 120 °C 25 bar / -20 °C</p> <p>Tipo de conexión: DIN / ANSI / JIS</p> <p>Tamaño de la conexión de entrada: DN 25/32 1 1/4 inch</p> <p>Tamaño de la conexión de salida: DN 25/32 1 1/4 inch</p> <p>Presión nominal para la conexión: PN 25</p> <p>Entrada nominal de brida: 250 lb</p> <p>Tamaño de la brida del motor: FT85</p> <p>Posición de caja de conexiones: 6</p> <p>Datos eléctricos:</p> <p>Normativa de motor: IEC</p> <p>Tipo de motor: 71B</p> <p>Potencia nominal - P2: 0.37 kW</p> <p>Potencia (P2) requerida por la bomba: 0.37 kW</p> <p>Frecuencia de red: 50 Hz</p> <p>Tensión nominal: 3 x 220-230D/380-400Y V</p> <p>Intensidad nominal: 1.78/1.04 A</p> <p>Intensidad de arranque: 660-700 %</p> <p>Cos phi - factor de potencia: 0.73-0.68</p> <p>Velocidad nominal: 2900 rpm</p> <p>Clase eficiencia IE: IE4</p> <p>Eficiencia del motor a carga total: 78.1 %</p> <p>Eficiencia del motor a una carga de 3/4: 78.6-76.3 %</p> <p>Eficiencia del motor a una carga de 1/2: 74.3-70.8 %</p> <p>Número de polos: 2</p> <p>Grado de protección (IEC 34-5): 55 Dust/Jetting</p> <p>Clase de aislamiento (IEC 85): F</p> <p>Motor N.º: 93296451</p> <p>Paneles control:</p> <p>Posición de caja de conexiones: 6</p> <p>Frequency converter: None</p> <p>Otros:</p> <p>Índice de eficiencia mínima, IE min: 0.70</p> <p>Peso neto: 23.6 kg</p> <p>Peso bruto: 26.3 kg</p> <p>Volumen de transporte: 0.054 m³</p>

PENTEK SERIE DFX CARTUCHOS DE FLUJO DE DIAMANTE

FILTRACIÓN DE DOBLE TECNOLOGÍA



Los cartuchos Diamond Flow serie DFX Series son unos cartuchos únicos de calidad superior que usan varias de las competencias fundamentales de Pentair al reunir tecnologías en un cartucho para llevar a los clientes un producto de calidad. Los cartuchos de la serie Diamond Flow ofrecen la reducción eficaz de sabor y olor a cloro que se encuentra en los bloques de carbón Pentek® tradicionales, junto con la reducción superior de sedimentos para resistir la obturación prematura. Estos cartuchos de objetivo doble se adaptan bien a una amplia gama de aplicaciones.

CARACTERÍSTICAS/VENTAJAS

Alta capacidad de reserva de suciedad que maximiza la utilización del bloque de carbón*

Reducción del sabor y el olor del cloro en combinación con la reducción del sedimento superior*

Disponible en una clasificación de 10 micrones

Disponible en longitudes de 10" y 20"

Disponible en tamaño Standard & Big Blue

Caída de presión baja

Nuevo diseño de producto con la marca Pentair

Dos veces más resistente a la conexión de partículas que los bloques de carbón estándar†

Aqua Integral®

MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Medios de Filtro Exterior: Polyspun de Polipropileno

Medios de Filtro Interior: Bloque de Carbón

Tapas extremas: Polipropileno

Juntas: Buna-N

Clasificación de Temperatura: 40°-125°F



Los cartuchos Diamond Flow de la serie DFX son probados y certificados por NSF International según la norma NSF / ANSI 42 para requisitos de materiales solamente

*Basado en la prueba interna del fabricante.

ESPECIFICACIONES Y RENDIMIENTO

NÚMERO DE PIEZA	MODELO	DIMENSIONES MÁXIMAS	CLASIFICACIÓN (NOMINAL)	INICIAL ΔP (PSI) A ÍNDICE DE FLUJO (GPM)	REDUCCIÓN DEL SABOR Y OLOR DEL CLORO A ÍNDICE DE FLUJO
655130-43	DFX-CB-10	2,89" x 9,840" (73,41 mm x 249,934 mm)	10 μ	1,0 psi a 1,0 gpm (0,07 bar a 3,8 Lpm)	2.500 gal a 1,0 gpm (9.464 L a 3,8 Lpm)
655148-43	DFX-CB-20	2,89" x 20,065" (73,41 mm x 509,651 mm)	10 μ	1,0 psi a 2,0 gpm (0,07 bar a 7,6 Lpm)	5.000 gal a 2,0 gpm (18.927 L a 7,6 Lpm)
655151-43	DFX-CB-BB	4,63" x 9,840" (117,60 mm x 249,935 mm)	10 μ	1,0 psi a 2,0 gpm (0,07 bar a 7,6 Lpm)	15.000 gal a 2,0 gpm (56.781 L a 7,6 Lpm)
655152-43	DFX-CB-20BB	4,63" x 20,035" (117.60 mm x 508.89 mm)	10μ	1.0psi @ 4.0 gpm (0.07 bar @ 15.14 Lpm)	30,000 gal @ 4.0 gpm (113,562 L @ 15.14 Lpm)



Aqua Integral®
 Agua para el futuro



5730 NORTH GLEN PARK ROAD, MILWAUKEE, WI 53209
 P: 262.238.4400 | F: 262.238.4404

WATERPURIFICATION.PENTAIR.COM

ATENCIÓN AL CLIENTE: 800.279.9404 | tech-support@pentair.com

© 2017 Pentair Residential Filtration, LLC. Todos los derechos reservados.

Para obtener una lista detallada de las marcas registradas de Pentair, visite waterpurification.pentair.com.

Las marcas registradas y los logotipos de Pentair son propiedad de Pentair, Inc. o de sus afiliados. Las marcas registradas y los logotipos de terceros registrados y no registrados son propiedad de sus respectivos dueños.

247684-S REV E AP17

Endress+Hauser Electromagnetic flowmeter DMA20-AAAAA1

Smart, pocket-sized magmeter for utilities, ideal for process control and monitoring due to temperature and conductivity measurement.



Picture for reference only. Product appearance may vary based on configuration

Picomag is a compact electromagnetic flowmeter that simultaneously measures flow, temperature and conductivity. The device is suited for applications in secondary circuits with conductive liquids, and the bidirectional measuring principle is virtually independent of pressure, density, temperature and viscosity. Wireless connection to the SmartBlue app over Bluetooth® ensures fast and easy plug-and-play commissioning, operation and maintenance. Depending on the chosen diameter, the maximum flow rate is 35 l/min (DMA15, DN15), 75 l/min (DMA20, DN20), 150 l/min (DMA25, DN25) or 750 l/min (DMA50, DN50). Conductivities from 20 to 10 000 µS/cm (DMA50) or up to 30 000 µS/cm (DMA15, DMA20, DMA25) can be measured. The temperature measurement range is -10 to 70 °C independent of the diameter.

- Three measurements in one device: volume flow, temperature, conductivity
- Intuitive configuration and operation as well as easy access via SmartBlue app, ideal for measuring points that are difficult to access
- Large user-friendly and auto-rotatable display for local process control
- Plug-and-play thanks to IO-Link for easy integration into all fieldbus systems
- Compact size enables installation in tight spaces like skids

Configuration of DMA20-AAAAA1:

Approval:	AA	Non-hazardous area
Output; Input:	A	IO-Link/4-20mA/pulse/switch output/ 2-10V; status input, configurable
Sensor; Seal; Process conn.; Housing:	A	PEEK, stainl. steel; FKM; G male thread; stainl. steel
Device Model:	A1	1

Alternative part number: DMA20-1009/0

Información técnica

Memosens CCS51E

Sensor digital con tecnología Memosens para la detección de cloro libre



Aplicación

El sensor Memosens CCS51E para cloro libre es adecuado para un amplio abanico de calidades del agua:

- Agua potable: para asegurar una desinfección adecuada sin una dosificación excesiva
- Aplicaciones auxiliares: para detectar el cloro libre y evitar posibles daños
- Agua de proceso: para el envasado y embotellado de alimentos y bebidas en condiciones higiénicas
- Piscinas: para dosificar el desinfectante de la manera más eficiente posible

Ventajas

- El sensor amperométrico de bajo mantenimiento reduce los costes de operación del punto de medición, particularmente en comparación con la determinación de la medición de tipo colorimétrico.
- Gracias a la tecnología Memosens 2.0, el sensor se puede precalibrar e integrarse fácilmente en el proceso usando tecnología de tipo "plug-and-play". Esto, junto con el tiempo de polarización más rápido, asegura una alta disponibilidad de la planta.
- El rápido tiempo de respuesta ($T_{90} < 25$ s) hace posible una monitorización precisa, una respuesta rápida ante los cambios y, por consiguiente, un control eficiente del proceso.
- La precisión y la estabilidad a largo plazo de la medición aseguran una elevada fiabilidad del proceso y permiten llevar a cabo una dosificación de desinfectante adaptada a la aplicación.
- Versiones del sensor adecuadas para cualquier rango de medición: desde la medición de trazas hasta concentraciones de cloro libre de 200 mg/l.
- Resulta cómodo de combinar con otros parámetros relevantes de análisis de líquidos, como pH y redox, si se conecta al transmisor Liquiline.

Índice de contenidos

Funcionamiento y diseño del sistema	3	Accesorios	10
Principio de medición	3	Accesorios específicos de servicio	10
Sistema de medición	3	Accesorios específicos del equipo	10
Confiabilidad	4		
Entrada	5		
Variables medidas	5		
Rango de medición	5		
Corriente de señal	5		
Alimentación	5		
Conexión eléctrica	5		
Características de funcionamiento	5		
Condiciones de funcionamiento de referencia	5		
Tiempo de respuesta	5		
Tiempo de polarización	6		
Resolución del valor medido	6		
Error de medición	6		
Repetibilidad	6		
Pendiente nominal	6		
Deriva a largo plazo	6		
Tiempo de funcionamiento del electrolito	6		
Consumo intrínseco	6		
Instalación	6		
Orientación	6		
Profundidad de inmersión	7		
Instrucciones de instalación	7		
Entorno	7		
Rango de temperatura ambiente	7		
Rango de temperatura de almacenamiento	7		
Grado de protección	7		
Proceso	7		
Rango de temperatura del proceso	7		
Presión de proceso	8		
Rango de pH	8		
Conductividad	8		
Límite de flujo	8		
Flujo	8		
Estructura mecánica	9		
Medidas	9		
Peso	9		
Materiales	9		
Especificación del cable	9		
Certificados y homologaciones	9		
Información para cursar pedidos	10		
Página del producto	10		
Configurador de producto	10		
Alcance del suministro	10		

Funcionamiento y diseño del sistema

Principio de medición

El cloro libre se determina a través del ácido hipocloroso (HOCl) conforme al principio de medición amperométrico.

El ácido hipocloroso (HOCl) contenido en el producto se difunde a través de la membrana del sensor y se reduce a iones de cloruro (Cl^-) en el electrodo de trabajo de oro. En el contraelectrodo de plata, la plata se oxida y da lugar a cloruro de plata. La donación de electrones en el electrodo de trabajo de oro y la aceptación de electrones en el contraelectrodo de plata provoca la circulación de una corriente que es proporcional a la concentración de cloro libre en el producto en condiciones constantes.

La concentración de ácido hipocloroso (HOCl) depende del valor de pH. Se debería realizar una medición de pH adicional para compensar esta dependencia.

El transmisor utiliza la señal de corriente en nA para calcular la variable medida para la concentración en mg/l (ppm).

Principio de funcionamiento

El sensor consta de los elementos siguientes:

- Capuchón de membrana (derivación con membrana)
- Eje del sensor con contraelectrodo de gran área superficial y un electrodo de trabajo embebido en plástico

Los electrodos están en un electrolito separado del producto por una membrana. La membrana evita las fugas de electrolito y protege contra la entrada de contaminantes.

El sistema de medición se calibra por medio de una medición comparativa colorimétrica de conformidad con el método de la DPD para el cloro libre. El valor de referencia determinado se introduce en el transmisor, donde se usa para ajustes.

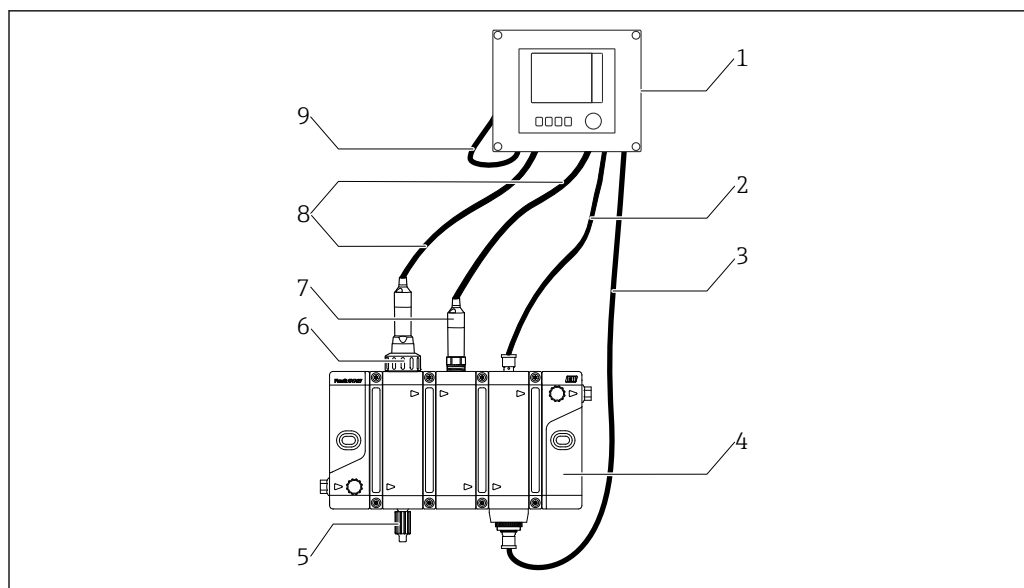
Sensibilidad cruzada

- Hay sensibilidades cruzadas de: dióxido de cloro, ozono, bromo libre.
- No se han encontrado sensibilidades cruzadas de: H_2O_2 , ácido peracético.

Sistema de medición

Un sistema de medición completo incluye:

- Sensor para procesos de desinfección CCS51E (con recubrimiento de membrana, $\varnothing 25$ mm (0,98 in)) con adaptador de montaje adecuado
- Cámara de flujo Flowfit CYA27
- Cable de medición CYK10, CYK20
- Transmisor, p. ej., Liquiline CM44x con firmware 01.13.00 o superior o CM44xR con firmware 01.13.00 o superior
- Opcional: cable de prolongación CYK11
- Opcional: Interruptor de proximidad
- Opcional: portasondas de inmersión Flexdip CYA112
- Opcional: sensor de pH CPS31E



A0045215

1 Ejemplo de un sistema de medición

- 1 Transmisor Liquiline CM44x o CM44xR
- 2 Cable para interruptor inductivo
- 3 Cable para luz de estado en el portasondas
- 4 Cámara de flujo, p. ej., Flowfit CYA27
- 5 Válvula de muestreo
- 6 Sensor para procesos de desinfección Memosens CCS51E (con recubrimiento de membrana, Ø 25 mm)
- 7 Sensor de pH Memosens CPS31E
- 8 Cable de medición CYK10
- 9 Cable de alimentación Liquiline CM44x o CM44xR

Confiabilidad

Fiabilidad



Memosens hace que sus puntos de medición sean más seguros y fiables:

- La transmisión de señales, digital y sin contacto, permite un aislamiento galvánico óptimo
- Antipolvo y resistente al agua (IP 68)
- El sensor se puede calibrar en un laboratorio, y así aumentar la disponibilidad del punto de medición en el proceso
- Mantenimiento predictivo gracias a la grabación de los datos del sensor, p. ej.:
 - Horas totales de funcionamiento
 - Horas de funcionamiento con valores medidos muy altos o muy bajos
 - Horas de funcionamiento a altas temperaturas
 - Historial de calibración

Mantenibilidad

Fácil manejo

Los sensores con tecnología Memosens disponen de un sistema electrónico integrado que almacena datos de calibración y otro tipo de información (p. ej., el total de horas en funcionamiento o las horas en funcionamiento en condiciones de medición extremas). Una vez instalado el sensor, los datos del sensor se transfieren automáticamente al transmisor y se utilizan para calcular el valor de corriente actual. Todos los datos de calibración se almacenan en el sensor, el sensor puede ser calibrado y ajustado independientemente del punto de medición. Como resultado:

- La calibración sencilla en el laboratorio de medición bajo condiciones externas óptimas aumenta la calidad de la calibración.
- Los sensores precalibrados se pueden sustituir de manera rápida y fácil, lo que resulta en un aumento notable de la disponibilidad del punto de medición.
- Gracias a la disponibilidad de los datos del sensor, se pueden definir de manera precisa los intervalos de mantenimiento y es posible un mantenimiento predictivo.
- El historial del sensor se puede documentar en soportes de datos externos y programas de evaluación.
- De este modo, la aplicación actual del sensor se puede determinar basándose en su historial previo.

Seguridad

Seguridad de datos gracias a la transmisión de datos digital

La tecnología Memosens digitaliza los valores medidos en el sensor y transmite los datos al transmisor mediante una conexión sin contacto que está libre de interferencias potenciales. Como resultado:

- Si el sensor falla o la conexión entre el sensor y el transmisor se interrumpe, se muestra un mensaje de error automático
- La detección inmediata de errores aumenta la disponibilidad del punto de medición

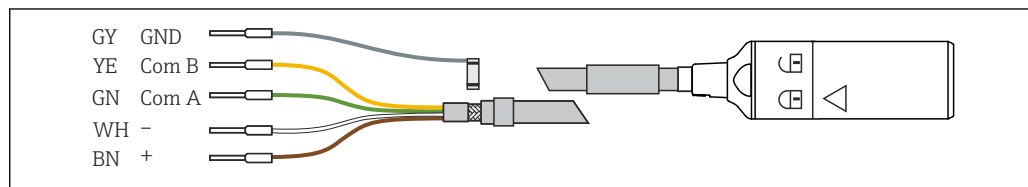
Entrada

Variables medidas	Cloro libre (HOCl)	Ácido hipocloroso (HOCl) [mg/l, µg/l, ppm, ppb]
	Temperatura	[°C, °F]
Rango de medición	CCS51E-**11AD**	0 ... 5 mg/l (ppm) HOCl
	CCS51E-**11BF**	0 ... 20 mg/l (ppm) HOCl
	CCS51E-**11CJ**	0 ... 200 mg/l (ppm) HOCl
Corriente de señal	CCS51E-**11AD**	Entre 33 y 63 nA por cada 1 mg/l (ppm) HOCl
	CCS51E-**11BF**	Entre 9 y 18 nA por cada 1 mg/l (ppm) HOCl
	CCS51E-**11CJ**	Entre 9 y 18 nA por cada 1 mg/l (ppm) HOCl

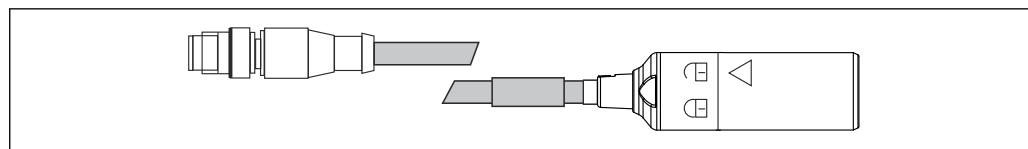
Alimentación

Conexión eléctrica

está conectado eléctricamente al transmisor por medio del cable de datos Memosens CYK10 o del cable de medición CYK20.



2 Cable de medición CYK10



3 Cable de datos CYK10 con conector M12, conexión eléctrica

Características de funcionamiento

Condiciones de funcionamiento de referencia	Temperatura	20 °C (68 °F)
	Valor de pH	pH 5,5 ±0,2
	Flujo	40 ... 60 cm/s (15,7 ... 23,6 in/s)
	Producto con base sin HOCl	Agua corriente
Tiempo de respuesta	T ₉₀ <25 s (una vez completada la polarización)	

El tiempo T_{90} puede ser más largo en determinadas condiciones. Si el sensor se utiliza o almacena en un producto sin cloro durante un período prolongado de tiempo, la respuesta del sensor se inicia inmediatamente ante la presencia de cloro, pero solo alcanza el valor exacto de concentración después de un retraso.

Tiempo de polarización	Puesta en marcha inicial	45 min	
	Nueva puesta en marcha	20 min	
Resolución del valor medido	CCS51E-**11AD**	0,03 µg/l (ppb) HOCl	
	CCS51E-**11BF**	0,13 µg/l (ppb) HOCl	
	CCS51E-**11CJ**	1,10 µg/l (ppb) HOCl	
Error de medición		LOD (límite de detección) ¹⁾	LDC (límite de cuantificación) ¹⁾
	CCS51E-**11AD**	0,002 mg/l (ppm)	0,005 mg/l (ppm)
	CCS51E-**11BF**	0,002 mg/l (ppm)	0,007 mg/l (ppm)
	CCS51E-**11CJ**	0,008 mg/l (ppm)	0,027 mg/l (ppm)
	1) Basado en la norma ISO 15839. El error de medición incluye todas las incertidumbres del sensor y el transmisor (cadena de medición). No contiene todas las incertidumbres causadas por el material de referencia ni por los ajustes que puedan haberse efectuado.		
Repetibilidad	CCS51E-**11AD**	0,0031 mg/l (ppm)	
	CCS51E-**11BF**	0,0035 mg/l (ppm)	
	CCS51E-**11CJ**	0,062 mg/l (ppm)	
Pendiente nominal	CCS51E-**11AD**	48 nA por cada 1 mg/l (ppm) HOCl	
	CCS51E-**11BF**	14 nA por cada 1 mg/l (ppm) HOCl	
	CCS51E-**11CJ**	14 nA por cada 1 mg/l (ppm) HOCl	
Deriva a largo plazo	<1 % por mes (valor medio, determinado al operar en concentraciones variables y en condiciones de referencia)		
Tiempo de funcionamiento del electrolito	al 10 % del rango de medición y 20 °C	2 años	
	al 50 % del rango de medición y 20 °C	1 año	
	con la máxima concentración y 55 °C	60 días	
Consumo intrínseco	El consumo intrínseco de cloro en el sensor es insignificante.		

Instalación

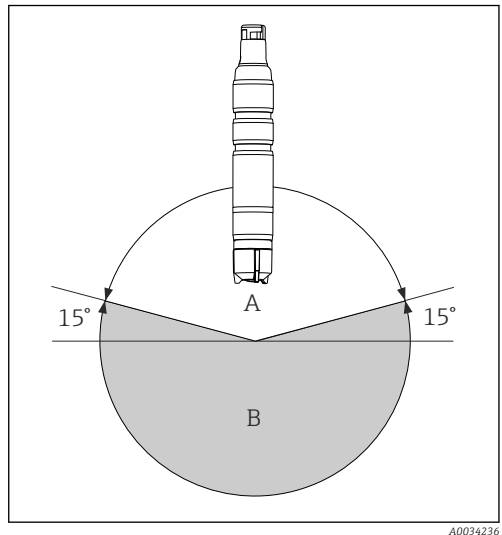
Orientación

AVISO

No lo instale boca abajo.

No se asegura la película de electrolito sobre el electrodo de trabajo ni, por tanto, la función del sensor.

- ▶ Instale el sensor en un portasondas, soporte o conexión a proceso adecuado en un ángulo de al menos 15° respecto a la horizontal.
- ▶ No se admiten otros ángulos de inclinación.
- ▶ Siga las instrucciones de instalación del sensor en el Manual de Instrucciones del portasondas utilizado.



A Orientación permitida
 B Orientación incorrecta

Profundidad de inmersión Por lo menos 50 mm (1,97 in).
 Corresponde a la marca (▼) en el sensor.

Instrucciones de instalación **Instalación del sensor en el portasondas Flowfit CYA27**
 El sensor se puede instalar en la cámara de flujo Flowfit CYA27. Además de la instalación del sensor cloro libre, este portasondas también permite el funcionamiento simultáneo de múltiples sensores y la monitorización del caudal.

Tenga en cuenta lo siguiente durante la instalación:

- ▶ Garantice el flujo mínimo hacia el sensor 15 cm/s (0,49 ft/s) y el flujo volumétrico mínimo del portasondas (5 l/h o 30 l/h).
- ▶ Si el producto se devuelve a la balsa de desbordamiento, tubería o similar, la contrapresión resultante del sensor no puede sobrepasar 1 bar relativ (14,5 psi relativ) (2 bar abs. (29 psi abs.)) y debe mantenerse constante.
- ▶ Evite la aparición de vacío en el sensor, p. ej., por el retorno del producto al lado de succión de una bomba.
- ▶ Para evitar la formación de deposiciones, debe filtrarse el agua altamente contaminada.

Entorno

Rango de temperatura ambiente -20 ... 60 °C (-4 ... 140 °F)

Rango de temperatura de almacenamiento

	Almacenamiento prolongado de hasta 2 años (como máximo)	Almacenamiento de hasta 48 h (como máximo)
Con electrolito	0 ... 35 °C (32 ... 95 °F) (sin congelación)	35 ... 55 °C (95 ... 131 °F)
Sin electrolito	-20 ... 60 °C (-4 ... 140 °F)	

Grado de protección IP68 (1,8 m (5,91 ft) de columna de agua durante 7 días a 20 °C (68 °F))

Proceso

Rango de temperatura del proceso 0 a 55 °C (32 a 130 °F), sin congelación

Presión de proceso La presión de entrada depende de cada conexión e instalación.
 La medición puede llevarse a cabo con una salida libre.
 El sensor puede funcionar a presiones de proceso de hasta 1 bar relativ (14,5 psi relativ) (2 bar abs. [29 psi abs.]).

Rango de pH Rango de efectividad de cloro libre pH de 4 a 9 ¹⁾
 Calibración pH 4 a 8
 Medición pH 4 a 9

1) Con un pH de hasta 4 y en presencia de iones de cloruro (Cl⁻), se produce Cl₂ que también es medido

Conductividad El sensor también se puede usar en productos que tengan una conductividad muy baja, como el agua desmineralizada. En este caso, se debe prestar atención a la reducida capacidad de solución amortiguadora de pH del producto. Esta se expresa en forma de un valor de pH difícil de ajustar y puede afectar a la compensación de pH.

Límite de flujo Por lo menos 5 l/h (1,3 gal/h), en la cámara de flujo Flowfit CYA27 (versión de 5 l)
 Por lo menos 30 l/h (7,9 gal/h), en la cámara de flujo Flowfit CYA27 (versión de 30 l)

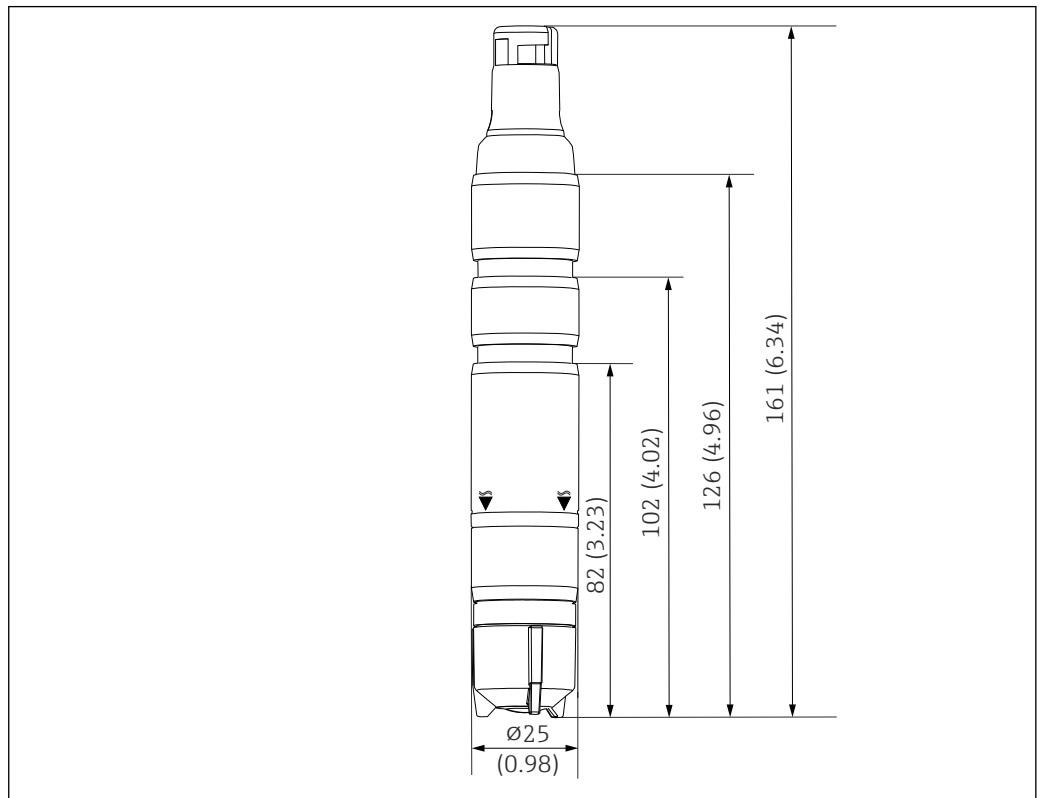
Flujo Como mínimo, 15 cm/s (0,5 ft/s) , p. ej. Flexdip portasondas de inmersión CYA112

► En lo referente al estado y el rendimiento del sensor, es muy importante respetar los límites de velocidad del caudal especificados en la siguiente tabla.

	Velocidad del caudal [cm/s]	Caudal volumétrico [l/h]		
		Flowfit CYA27 (versión de 5 l)	Flowfit CYA27 (versión de 30 l)	Flexdip CYA112
Mínimo	15	5	30	El sensor se suspende libremente en el producto; preste atención a la velocidad de flujo mínima de 15 cm/s durante la instalación.
Máximo	80	30	60	

Estructura mecánica

Medidas



4 Medidas en mm (in)

A0045241

Peso

Sensor con capucha de membrana y electrolito (sin capucha de protección y sin adaptador)
Aprox. 95 g (3,35 oz)

Materiales

Eje del sensor	PVC
Membrana	PVDF
Capuchón de membrana	PVDF
Capuchón de protección	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Depósito: PC Makrolon (policarbonato) ▪ Junta: Kraiburg TPE TM5MED ▪ Cubierta: PC Makrolon (policarbonato)
Anillo obturador	FKM
Acoplamiento del eje del sensor	PPS

Especificación del cable

máx. 100 m (330 pies), con extensión de cable

Certificados y homologaciones

Los certificados y homologaciones actuales del producto están disponibles mediante el Product Configurator en www.endress.com.

1. Seleccione el producto con los filtros y el campo de búsqueda.
2. Abra la página de producto.

Con el botón **Configuración** se abre el Product Configurator.

Información para cursar pedidos

Página del producto

www.endress.com/ccs51e

Configurador de producto

Su centro de ventas más próximo tiene disponible información detallada para cursar pedidos en www.addresses.endress.com o en la configuración del producto, en www.endress.com:

1. Seleccione el producto mediante los filtros y el campo de búsqueda.
2. Abra la página de producto.
3. Seleccione **Configuración**.

Configurador de producto: Herramienta de configuración individual de los productos

- Datos de configuración actualizados
- Según el equipo: Entrada directa de información específica del punto de medición, como el rango de medición o el idioma de trabajo
- Comprobación automática de criterios de exclusión
- Creación automática del código de pedido y su desglose en formato de salida PDF o Excel
- Posibilidad de cursar un pedido directamente en la tienda en línea de Endress+Hauser

Alcance del suministro

El alcance del suministro incluye:

- Sensor para procesos de desinfección (con recubrimiento de membrana, Ø25 mm) con capuchón de protección (listo para usar)
- Botella con electrolito (50 ml (1,69 fl oz))
- Capuchón de membrana de sustitución en capuchón de protección
- Manual de instrucciones
- Certificado del fabricante

Accesorios

Se enumeran a continuación los accesorios más importantes disponibles a la fecha de impresión del presente documento.

Los accesorios que figuran en la lista son compatibles desde el punto de vista técnico con el producto de las instrucciones.

1. La combinación de productos puede estar sujeta a restricciones específicas para la aplicación. Asegúrese de la conformidad del punto de medición con la aplicación. La responsabilidad de esta comprobación recae en el explotador del punto de medición.
2. Preste atención a la información recogida en el manual de instrucciones para todos los productos, en particular los datos técnicos.
3. Para obtener accesorios no recogidos aquí, póngase en contacto con su centro de servicio o de ventas.

Accesorios específicos de servicio

Kit de mantenimiento CCV05


Pedido según la estructura de pedido del producto

- 2 capuchones de membrana y 1 electrolito 50 ml (1,69 fl oz)
- 1 electrolito 50 ml (1,69 fl oz)
- 2 juegos de juntas

Accesorios específicos del equipo


Cable de datos CYK10 para Memosens

- Para sensores digitales con tecnología Memosens
- Product Configurator en la página de productos: www.endress.com/cyk10

 Información técnica TI00118C

Cable de datos CYK11 para Memosens

- Cable de extensión para sensores digitales con protocolo Memosens
- Product Configurator de la página de productos: www.es.endress.com/cyk11

 Información técnica TI00118C

Cable de laboratorio CYK20 Memosens

- Para sensores digitales con tecnología Memosens
- Product Configurator en la página de productos: www.endress.com/cyk20

Flowfit CYA27

- Cámara de flujo modular para mediciones multiparámetro
- Configurator de producto en la página de producto: www.endress.com/cya27



Información técnica TI01559C

Flexdip CYA112

- Portasondas de inmersión para aguas y aguas residuales
- Sistema modular de portasondas para sensores en balsas abiertas, canales y depósitos
- Material: PVC o acero inoxidable
- Product Configurator de la página de productos: www.es.endress.com/cya112



Información técnica TI00432C

Fotómetro PF-3

- Fotómetro portátil compacto para la determinación del valor de medición de referencia
- Botellas de reactivo de código de color con instrucciones claras de dosificación
- Código de producto: 71257946

Kit de adaptador CCS5x(D/E) para CYA27

- Anillo de sujeción
- Arandela de empuje
- Junta tórica
- N.º de pedido 71372027

Kit de adaptador CCS5x(D/E) para CYA112

- Adaptador con juntas tóricas incluidas
- 2 tornillos para su fijación
- N.º de pedido 71372026

Kit completo de fijador rápido para CYA112

- Adaptador, piezas internas y externas incl. juntas tóricas
- Herramienta de montaje y desmontaje
- N.º de pedido 71093377 o accesorio montado de CYA112

COY8

Gel de punto cero para sensores de oxígeno y sensores para procesos de desinfección

- Gel sin desinfectante para la verificación, la calibración de punto cero y el ajuste de puntos de medición de oxígeno y para procesos de desinfección
- Configurator de producto en la página de producto: www.endress.com/coy8



Información técnica TI01244C



www.addresses.endress.com

FOSA BÁSICA 1.000 LITROS

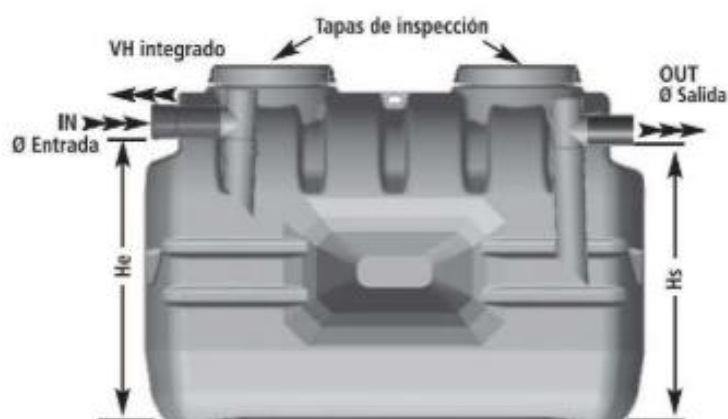
Ref. 1311001C



REF. D400H200

REALCE PARA ROSCAR adaptable a las bocas de hombre de 400 mm de diámetro. Se pueden unir entre sí para mayor altura.

**Vendido por separado.



DATOS TÉCNICOS

Capacidad depósito	1.000 litros
Peso	4,2 kg
Registros	2 de diámetro DN400
Tuberías	Entrada/Salida DN100
Medidas totales	1700 x 770 x 1250 mm

GARANTÍAS

Tipo	Descripción
ISO	ISO 9001:2015
Fabricante	10 años

CERTIFICADOS

No homologada



1000 litros

MANTENIMIENTO

Vaciado periódico

PERIODICIDAD

Cuando se alcance el nivel máximo establecido

www.depurpack.com

Los filtros de cesta simple constituyen un diseño ideal para aplicaciones donde un fácil mantenimiento y una gran capacidad de filtración sean requeridas. Están específicamente diseñados para utilización con líquidos y aportan una capacidad de filtración muy alta en comparación con el diámetro nominal de conexión a línea. Estos filtros se utilizan en sistemas de aguas para proteger la integridad de los cierres de las válvulas y equipos situados aguas abajo. La tapa atornillada facilita el mantenimiento y limpieza sin quitarlo de la instalación. Están provistos con un tapón de purga y drenaje en la parte inferior. La pintura externa es EPOXI para proteger el filtro de la corrosión ambiental.

Tapa superior desmontable, cesta reemplazable en línea

Tamiz colector de cesta de gran capacidad



Recubrimiento EPOXI interno y externo, protección ambiental

Tapón de Purga para vaciado de remanentes de agua

Atributos principales / Normas de referencia

Presión nominal: PN16
 Conexiones: Bridas EN1092-2 tipo 21/B PN16 (válvulas DN65 con 4 taladros, variante aceptada en la norma)
 Marcado: EN 19
 Pruebas de presión: EN 12266-1 / ISO 5208
 Recubrimiento epoxi interior y exterior, azul similar a RAL5005. Espesor medio mín. 250 micras
 Producto conforme a la Directiva de Equipos a Presión PED

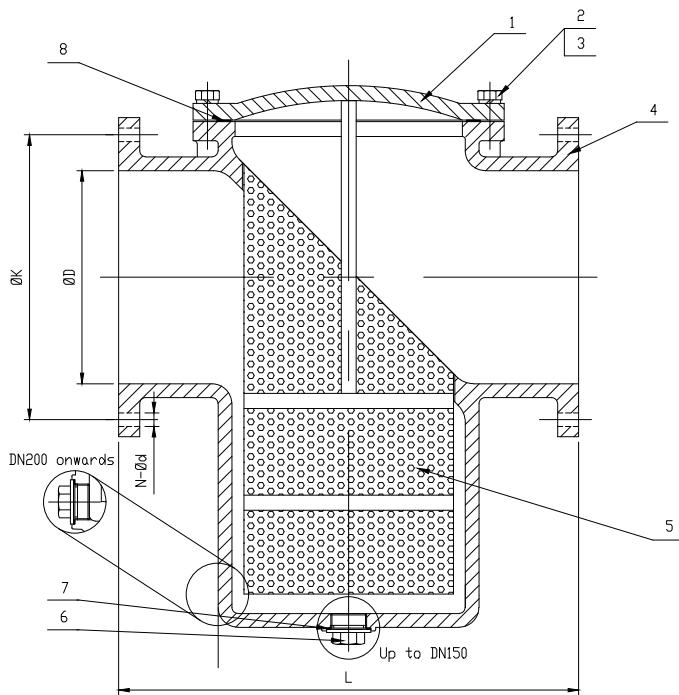
Parámetros de operación / Límites de utilización

Agua corriente y líquidos neutros del grupo 2, según PED Anexo II cuadro 9, clasificación según Art.3 - Parr.3
 PS: 16 bar; TS: -10/120°C
 Para cuestiones sobre compatibilidad de materiales consulte con nosotros

Opciones

Diferentes perforaciones de cesta, mallas especiales para servicio en vacío, otros diseños y aprobaciones. Consulte con nosotros

Partes y materiales



Nº	PART	MATERIAL
1	TAPA	Fundición dúctil
2	TORNILLO	Acero inox. SS304
3	ARANDELA	Acero inox. SS304
4	CUERPO	Fundición dúctil
5	MALLA	Acero inox. SS304
6	TAPÓN DE PURGA	Acero inox. SS304
7	JUNTA	EPDM
8	JUNTA	EPDM

Parámetros principales

DN	50	65	80	100	125	150	200	250
L	207	210	251	292	334	378	475	511
D	165	185	200	220	250	285	340	405
K	125	145	160	180	210	240	295	355
G	99	119	134	156	184	211	266	319
n-Ød	4-19	4-19	8-19	8-19	8-19	8-23	12-23	12-28
Paso de luz estandar	2	2	2	2	3	3	5	5
Peso aproximado	13	17	22	33	42	57	96	133

Dimensiones en mm sujetas a tolerancias de fabricación / Pesos en kg

Parámetros principales

DN	300	350	400	450	500	600
L	680	769	842	890	900	1000
D	460	520	580	640	715	840
K	410	470	525	585	650	770
G	370	431	482	540	611	710
n-Ød	12-28	16-28	16-31	20-31	20-34	20-37
Paso de luz estandar	5	5	5	5	5	5
Peso aproximado	249	-	-	-	-	-

Dimensiones en mm sujetas a tolerancias de fabricación / Pesos en kg

¡Observar prescripciones/limitaciones en las normas y regulaciones aplicables!
Manual de Instalación y Mantenimiento disponible en www.comeval.es

El ingeniero que diseña un sistema o una planta es responsable de la correcta selección del equipo.
Se debe verificar la correcta adecuación del producto al servicio. Contacte con nosotros para más información

MANUAL DE INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Conforme a Directiva de Equipos a Presión (PED)



Series ST101F

FILTROS DE CESTA SIMPLE

Índice

1.0 INFORMACIÓN GENERAL DEL MANUAL	2	5.0 INSTALACIÓN	3
2.0 AVISOS SOBRE POSIBLES PELIGROS	2	5.1 Consideraciones generales en la instalación.....	3
2.1 Significado de la simbología.....	2	5.2 Requisitos del lugar de instalación.....	4
2.2 Notas sobre la información de seguridad.....	2	6.0 PUESTA EN MARCHA	4
3.0 PRESERVACIÓN, ALMACENAMIENTO Y		7.0 CUIDADO Y MANTENIMIENTO	5
TRANSPORTE	2	8.0 LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS	5
4.0 DESCRIPCIÓN	2	9.0 GUÍA DE POSIBLES AVERÍAS	5
4.1 Descripción general / Campo de aplicación /Principio		10.0 DESMONTAJE DE FILTRO	5
de funcionamiento.....	2	11.0 GARANTÍA	6
4.2 Datos técnicos – Observaciones.....	2	12.0 LISTA DE PARTES	6
4.3 Marcado/Placa identificativa.....	3		

1.-INFORMACIÓN GENERAL DEL MANUAL

- Este Manual proporciona información sobre la instalación, puesta en marcha y mantenimiento del producto. Contacte con su suministrador o el fabricante en caso de problemas que no se contemplen en este Manual.
- Este Manual es vinculante para el transporte, almacenamiento, instalación, puesta en marcha, operación, mantenimiento o reparación. Se ha de leer el Manual antes de la puesta en marcha del producto.
- Las notas y avisos deben observarse y cumplirse.
- El producto debe ser manejado por personal especializado. Todas las actividades deben ser supervisadas e inspeccionadas.
- Es responsabilidad de la propiedad definir las áreas de responsabilidad y competencia, así como la supervisión del personal.
- Además, los requisitos de seguridad de aplicación deben ser siempre observados y cumplidos, también cuando el producto sea desmontado, mantenido o reparado.
- Cualquier modificación sobre el producto o desviación en su montaje deberá tener la aprobación por nuestra parte.
- El fabricante se reserva el derecho a realizar modificaciones técnicas en cualquier momento.
- Este Manual cumple con los requerimientos de las Directivas de la UE.

2. – AVISOS SOBRE PELIGROS

2.1 Significado de la simbología



¡ATENCIÓN!

...

Avisos de advertencias e información de seguridad para proteger de peligros y riesgos

2.2 Notas sobre la información de seguridad

En este Manual los peligros, riesgos y elementos de información de seguridad están destacados con el símbolo del apartado anterior.

Estos avisos describen prácticas que de no cumplirse pueden provocar lesiones graves o peligro de muerte para los usuarios, a terceros, o daños materiales en el sistema o el medio ambiente. Es vital cumplir con estas prácticas y supervisar su cumplimiento.

El resto de información que no está bajo estos avisos, además de la recogida en las fichas técnicas y marcados del producto, deben así mismo contemplarse con el fin de evitar fallos que pueden causar lesiones graves a personas o daños a la propiedad.

3. – PRESERVACIÓN, ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE



¡ATENCIÓN!

- *Proteger el producto contra fuerzas externas (impactos, vibraciones, etc.)*
- *El producto ha de ser manejado sólo por personal cualificado, con los equipos de elevación y sujeciones adecuados. Ver la ficha técnica para comprobar los pesos o consulte con el fabricante.*
- *Comprobar la correcta colocación de la placa identificativa y tratar con cuidado para evitar cortes.*

- Usar un embalaje adecuado para el transporte.
- Conservar las protecciones hasta su instalación.
- Para prevenir daños y corrosión de sus superficies, evitar temperaturas extremas (mantener entre 5°C y 50°C), condiciones de alta humedad ambiental o atmósferas corrosivas. Proteger el producto de la luz solar directa, polvo, llamas o lluvia, y evitar golpes o arañazos. No apilar excesivo peso. Si recibe un golpe, debe ser inspeccionado exhaustivamente para descartar posibles daños, y sustituirse en caso necesario.

4. – DESCRIPCIÓN

4.1 Descripción general / Campo de aplicación / Principio de funcionamiento

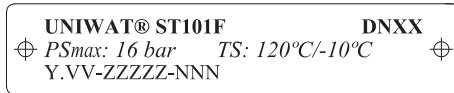
Los filtros de paso en Y son dispositivos para eliminar sólidos del flujo mediante una malla o chapa perforada, reemplazable en línea. Protegen de suciedad e impurezas otros equipos como válvulas, bombas y otros accesorios de línea. Ver diagrama con las partes del filtro en la última página de este Manual.

4.2 Datos técnicos – Observaciones

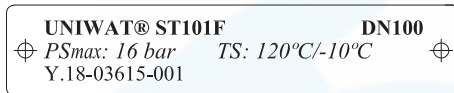
Para datos tales como características principales, límites de uso, dimensiones, pesos, etc. consulte su ficha técnica.

4.3 Marcado/Placa identificativa

Descripción de la placa identificativa del filtro:



Ejemplo



Marcado	Descripción
UNIWAT	Nombre de la serie
FIG.	Código del producto
Y	Año de fabricación
SN: ZZZZZZ-N	Nº de lote / serie
S	Tamaño filtro
C	Clase
B	Material del cuerpo
STD	Código principal de diseño
SC	Material del tamiz
PSmax	Presión máxima
TS	Máx. temperatura a la presión máxima
PS	Máx. presión a la temperatura máxima
TSmax	Temperatura máxima

Marcado CE según PED:



5. – INSTALACIÓN

5.1 Consideraciones generales en la instalación

Considerar los siguientes puntos junto a los principios generales que gobiernen la instalación:



¡ATENCIÓN!

- Retirar los elementos de protección tales como tapas, restos de embalaje, etc. justo antes de la instalación.
 - Comprobar que el interior del filtro está libre de partículas extrañas.
 - Observar la flecha en el cuerpo para determinar la correcta situación del equipo con respecto al sentido de flujo.
 - Disponer las tuberías de tal manera que se eviten tensiones de cizallamiento, flexión o torsión.
 - Proteger los filtros de la suciedad durante los trabajos en la instalación.
 - Usar equipos adecuados para la instalación. Durante la instalación asegurar que el filtro está perfectamente sujeto. Ver la ficha técnica para consultar los pesos o consulte con el fabricante.
 - Para su correcto funcionamiento, el tamiz del filtro NUNCA debe estar situado en la parte superior. El filtro se puede instalar preferiblemente en tubería horizontal, o bien en tubería vertical en sentido descendente (con el tamiz hacia abajo), siempre de acuerdo a la flecha de sentido de flujo marcada en el cuerpo.
- En sistemas de vapor, debe evitarse la acumulación de condensados y facilitar su correcta purga. Entre otras medidas a tomar para esta aplicación, la instalación del filtro debe ser siempre en tubería horizontal con el tamiz en el plano horizontal (no hacia a bajo) y la tubería debe presentar una ligera inclinación en sentido descendente.**
- Observar todas las medidas de seguridad de aplicación durante su instalación.
 - Comprobar la correcta posición de la placa identificativa y proceder con cuidado para evitar cortes.

Conexiones bridadas:

Comprobar que los estándares de bridas y contrabridas son compatibles. Seleccionar las juntas adecuadas de acuerdo a las condiciones de servicio y centrarlas convenientemente. La tubería debe estar correctamente emplazada, soportada y alineada. Evitar inclinaciones, torsiones y no alineaciones de tubería que puedan provocar tensiones en el producto una vez instalado. No forzar la unión de las bridas, ni intentar atornillar cuando exista una separación entre ellas. Apretar los tornillos de unión de manera gradual y cruzada, moderada y uniforme.

Conexiones roscadas:

- Asegurar que la rosca de la tubería tiene el acabado correcto y conicidad de acuerdo al producto.
- Usar un elemento de sellado o un compuesto de unión adecuado en la rosca de la tubería antes de proceder a roscar para asegurar la estanqueidad de la unión. La longitud de la rosca del tubo debe ser al menos 1 mm inferior a la del producto para evitar que el tubo interfiera con la parte interna. Roscar mediante llave plana o llave inglesa, únicamente sobre el extremo hexagonal del lado que se esté conexionando, para evitar daños sobre el producto. No usar llaves grifa o similares que puedan dañar el hexágono. No forzar el roscado si se observa que no rosca con suavidad, no usar extensiones de llave, etc., a fin de evitar roturas. Se recomienda no superar los 30 Nm de par de apriete.

5.2 Requisitos del lugar de instalación

- Condiciones ambientales agresivas pueden reducir la vida útil del producto.
- Considerar la interacción del equipo en el sistema. Prever elementos para amortiguar vibraciones y dilataciones de la tubería, así como guías, anclajes y soportes adecuados en función del peso de cada componente.
- El sistema y protocolos de operación deben ser concebidos para evitar velocidades elevadas, flujo pulsante o golpes de ariete, muy dañinos para el propio producto y resto de elementos de la instalación.
- Se recomienda evitar situaciones de inundación del producto.
- Prever espacio suficiente para las operaciones de instalación, operación y mantenimiento.

El proyectista, el instalador y/o la propiedad son responsables de la correcta instalación del producto.

6. – PUESTA EN MARCHA



¡ATENCIÓN!

- Antes de la puesta en marcha se deberán comprobar los datos relativos al material, presión, temperatura, sentido de circulación del flujo y resto de parámetros esenciales. Utilizar siempre el producto dentro del rango de servicio y de funcionamiento previstos.
- Antes de la puesta en marcha asegurar que se han seguido estrictamente los capítulos anteriores.
- Es preciso limpiar a fondo el sistema de tuberías para eliminar todas las partículas e impurezas que puedan haber quedado tras los trabajos de instalación, tales como residuos de soldadura, virutas, piedras, otros restos olvidados, etc., que podrían dañar el filtro durante el arranque. Asegurar que durante la limpieza del sistema de tuberías cualquier producto químico utilizado, temperatura, etc. son compatibles con la construcción del filtro.
- Siempre se han de observar las instrucciones de seguridad de aplicación.
- Temperaturas superiores a 50°C o inferiores a 0°C pueden causar lesiones en el personal por contacto directo. Asegurar que existen los signos de aviso adecuados en el equipo o alrededores, o bien aislar el producto para evitar riesgos.
- Antes de toda puesta en marcha de una nueva instalación, o bien antes de una nueva puesta en marcha de la instalación tras reparaciones o remodelaciones, se habrá de comprobar:
 - ¡La finalización correcta de todos los trabajos!
 - La correcta posición de funcionamiento del filtro.
 - Que los dispositivos de protección necesarios están debidamente dispuestos.

- Comprobar que la superficie del filtro está en buenas condiciones y retocar su capa de protección si fuera necesario.
- La puesta en servicio del filtro, llenado, calentamiento y puesta a régimen de la instalación debe ser gradual para evitar choques y tensiones anormales en el sistema. Comprobar la estanqueidad en las conexiones y unión cuerpo/tapa, y reapretar de manera gradual y cruzada, moderada y uniforme en caso necesario.

7. – CUIDADO Y MANTENIMIENTO

El operador ha de definir el mantenimiento y sus intervalos para cumplir con los requisitos establecidos.

- Comprobar la estanqueidad al cuerpo.



¡ATENCIÓN!

- Antes de desmontar el filtro obsérvense los capítulos 10 y 11.
- Llevar a cabo el trabajo de mantenimiento cuando se hayan tomado las medidas de seguridad pertinentes.
- Comprobar la correcta posición de la placa identificativa y manipular con cuidado para evitar cortes.

- Comprobar las superficies interiores y exteriores del filtro y retocar su capa de protección si fuera necesario. Si se observa corrosión o erosión avanzada reemplazar el equipo.
- Si hay fuga en uniones referirse a los capítulos 5 y 6 de Instalación y Puesta en marcha.
- La limpieza del tamiz debe realizarse de manera periódica y cuando la obstrucción sea aparente, mediante aire comprimido u otro sistema no agresivo. El tamiz se extrae tras retirar la tapa una vez aflojados sus tornillos o tuercas. Comprobar las superficies interiores y exteriores del filtro.
- Colocar de nuevo el tamiz de modo que asiente correctamente, limpiar el asiento de la junta y colocar una junta nueva, colocar la tapa y apretar las tuercas de manera gradual, cruzada y uniforme.

Después de cualquier operación de mantenimiento referirse a los capítulos 5 y 6 de Instalación y Puesta en marcha.

Repuestos recomendados:

Se recomienda usar siempre repuestos originales.

Los repuestos a mantener en stock dependen de muchos factores, como las condiciones de servicio, tiempos de parada admisibles, cantidad de filtros, etc. Como recomendación general: 1 malla/tamiz de recambio y 4 juntas para 2 años de operación.

8. – LOCALIZACIÓN DE AVERÍAS

En caso de un mal funcionamiento se habrá de comprobar si los trabajos de montaje e instalación han sido realizados y completados de acuerdo a este Manual.



¡ATENCIÓN!

- Es esencial cumplir con las prescripciones de seguridad en la búsqueda de posibles fallos.

9. – GUÍA DE POSIBLES AVERÍAS



¡ATENCIÓN!

- ¡Antes de desmontar el filtro obsérvense los capítulos 10 y 11!
- ¡Antes de una nueva puesta en marcha obsérvese el capítulo 6!

SINTOMA	POSIBLES CAUSAS	ACCIONES CORRECTORAS
No hay flujo	Tapas u otras protecciones no retiradas	Retirar protecciones
Flujo demasiado escaso	Filtro obturado	Limpiar/remplazar malla/tamiz
	Sistema obturado	Revisar el sistema
Brida rota	Tornillos apretados de modo incorrecto	Realignar la tubería e instalar un nuevo filtro
	Bridas mal alineadas	
Malla/tamiz deformado	Aplicación en vacío o golpes de ariete	Revisar el sistema y montar tamiz reforzado
Fuga entre el cuerpo y tapa	Tornillos/tuercas cuerpo-bonete sueltos o mal apretados, o junta dañada	Reapretar o cambiar junta

Soporte técnico disponible a través de nuestra web www.comeval.es o de su distribuidor local.

10. – DESMONTAJE DEL FILTRO



¡ATENCIÓN!

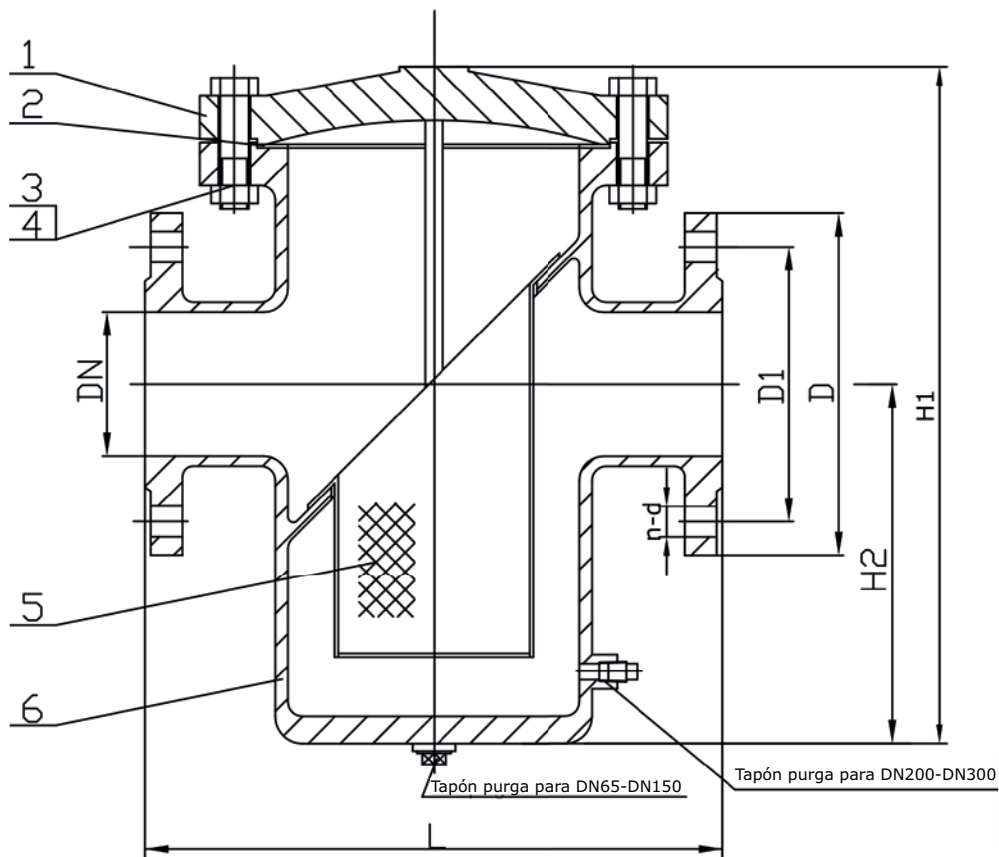
Prestar atención a los siguientes puntos:

- El sistema debe estar despresurizado y frío.
- Vaciar el sistema, especialmente en caso de fluidos peligrosos tóxicos, corrosivos, inflamables o cáusticos

11. – GARANTÍA

- La extensión y la duración de la cobertura de la garantía se especifican en las "Condiciones Generales de Venta" de COMEVAL VALVE SYSTEMS en vigor en el momento de la entrega o bien según contrato acordado.
- Se garantiza la exención de fallos correspondiente con el estado de la técnica actual y de acuerdo a los límites de uso/aplicación confirmados.
- No se aceptarán reclamaciones por daños causados por un manejo incorrecto del producto o por desatender las informaciones e indicaciones de este Manual, hojas de datos y regulaciones de aplicación.
- Igualmente, quedan fuera de esta garantía aquellos daños provocados durante el funcionamiento por unas condiciones de servicio distintas a las especificadas o acordadas en el contrato.
- Las reclamaciones pertinentes serán resueltas por nuestros medios o por un especialista asignado por nosotros.
- No se aceptarán reclamaciones más allá del alcance de esta garantía. El derecho a reposición queda excluido.
- Los trabajos de instalación, puesta en marcha o mantenimiento del propio producto o de partes ajenas está excluido de la garantía.
- La garantía no cubre aquellos productos que hayan sido manipulados, ni el desgaste natural de sus componentes.
- El comprador es responsable de comprobar que el producto entrante es recibido en buenas condiciones y que cumple con las especificaciones solicitadas. En caso de daños causados durante el transporte debe comunicarse al transportista en un plazo máximo de 24 horas. Después de este tiempo el transportista podría no asumir los costes derivados. Si se detecta alguna desviación con respecto a los términos del contrato, rogamos nos contacten en el teléfono 96 147 90 11.

12. - LISTA DE PARTES



Nº	PARTE
1	TAPA
2	JUNTA
3	TORNILLO
4	TUERCA
5	CESTA
6	CUERPO
7	TAPÓN DE PURGA



Manual – BW-series

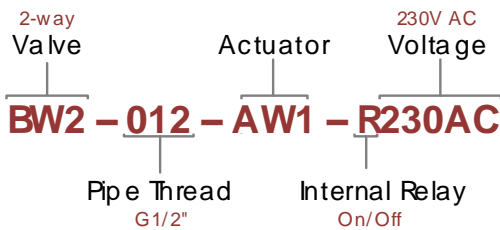
ELECTRICAL BALL VALVES

Energy efficient and robust electrical ball valve with wide field of application. Common applications include ventilation, heating systems, solar water heaters, irrigation systems and industrial equipment.

Features	Value
Media	Neutral liquids and gases.
Medium Temperature	-10..110°C
Ambient Temperature	-10..50°C
Operating pressure	0..10 bar
IP-rating	IP54

All ball valves of the BW series are compatible with the actuators from the AW1 series. The tables below are showing the different versions. The product code of a complete electric ball valve is composed of the code for the actuator and the ball valve.

Example Product Code:

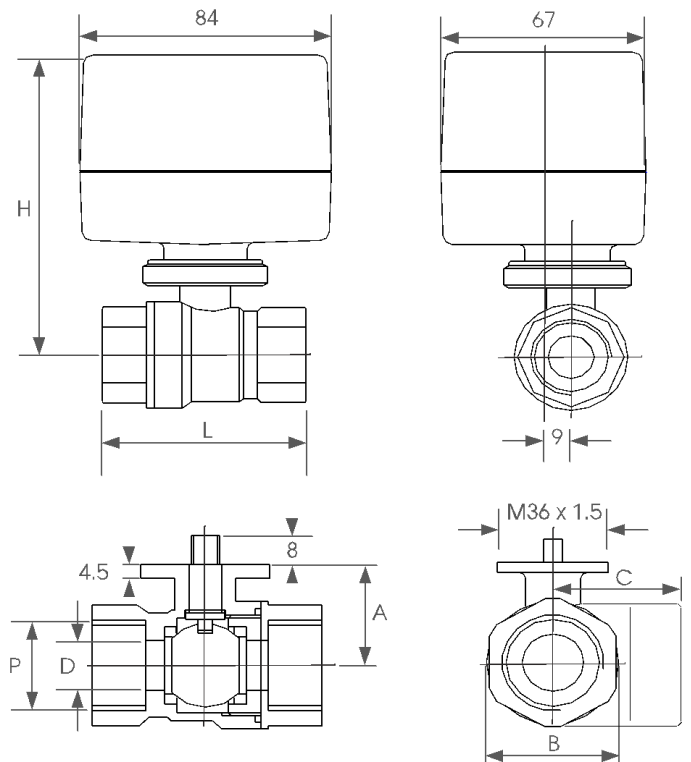


Overview Actuators

Product Code	Power Supply	Operation	P (W)	Open	T (Nm)
AW1-230AC	230V~50Hz	3 way	5W	16s	4
AW1-R230AC	230V~50Hz	On/Off	5W	16s	4
AW1-024AC	24V~50Hz	3 way	5W	16s	4
AW1-R024AC	24V~50Hz	On/Off	5W	16s	4
AW1-024DC	24V DC	3 way	3W	6s	2.5
AW1-R024DC	24V DC	On/Off	3W	6s	2.5
AW1-012DC	12V DC	3 way	3W	6s	2.5
AW1-R012DC	12V DC	On/Off	3W	6s	2.5

Overview Ball Valves

Code	Pipe (P)	Function	Orifice (D)	Kv (m³/h)	AxBxC (mm)	LxH (mm)
BW2-012	G1/2"	2/2 way	12 mm	8.6	28x28	50x113
BW2-034	G3/4"	2/2 way	15 mm	21	30x35	58x115
BW2-100	G1"	2/2 way	20 mm	26	35x45	73x120
BW3-012	G1/2"	3/2 way	10 mm	6.4	28x28x28	54x113
BW3-034	G3/4"	3/2 way	13 mm	10	30x35x40	70x115
BW3-100	G1"	3/2 way	18 mm	16	35x45x45	83x120



1. Technical Overview

1.1. Principle of operation

Ball valves control the flow of a fluid or gas by means of a rotating ball with a hole. By rotating the ball 90° around its axis, the valve will for example open or close. The valve can have two or three connection ports (2-way or 3-way). The three-way balls have a T-shaped hole. Therefore, different switching schemes are possible. Electric ball valves are actuated with an electric motor. The AW1 actuator features a transmission to arrange a smooth and slow opening and closing with a high torque. The AW1 actuator is equipped with two limit switches. Once the actuator reaches one of the two end positions (90° rotation), the power supply to the electric motor shuts down and no electrical power is needed to stay in the end positions.

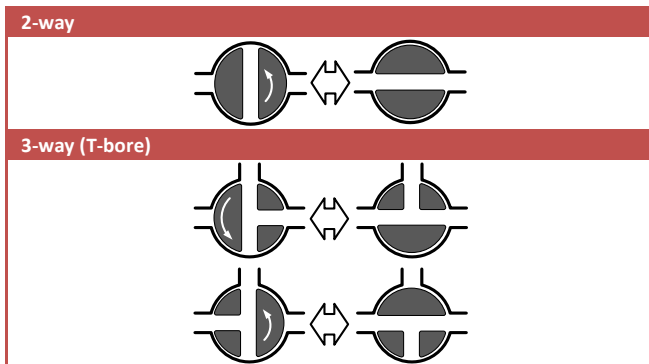
The AW1 actuator is available with 3-point control or On/Off control with internal relay (see Chapter 3.3).

1.2. Materials

Component	Material
Valve body	Brass (EN: CW617N, CuZn40Pb2)
Ball seal	PTFE
O-ring	EPDM
Actuator housing	PC GF10 (polycarbonate)
Actuator coupling	POM (Polyoxymethylene)

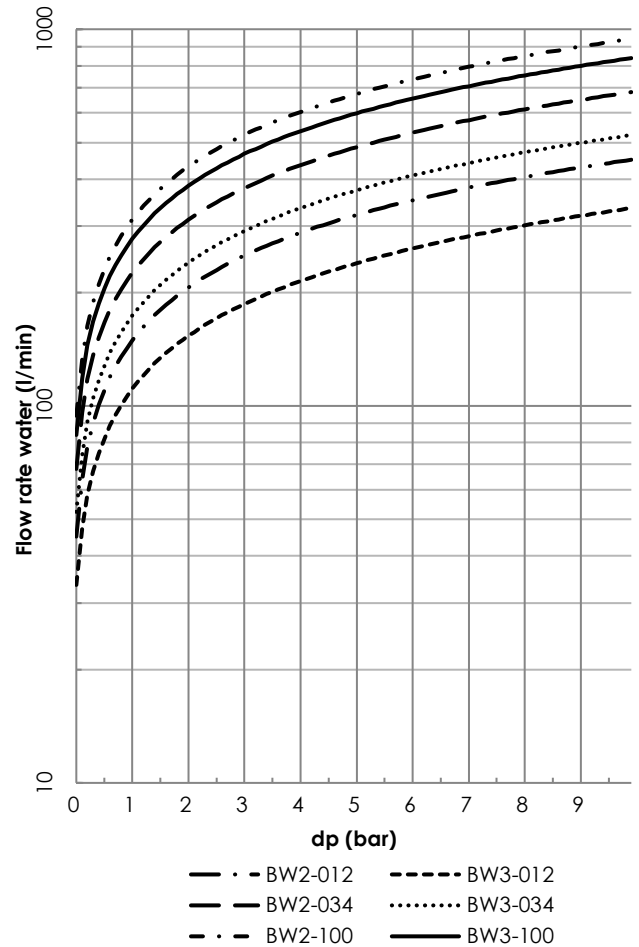
1.3. Circuit Diagram

The table below shows the circuit functions of the ball valves. The 2-way ball valves are open or closed. The 3-way ball valves can be arranged in two different ways (by rotating the ball 180°).



1.4. Flow chart

The following graph shows the flow rate (l/min) of the ball valves as a function of the differential pressure across the inlet and outlet of the valve. The scale of the vertical axis is logarithmic.



1.5. Duty Cycle

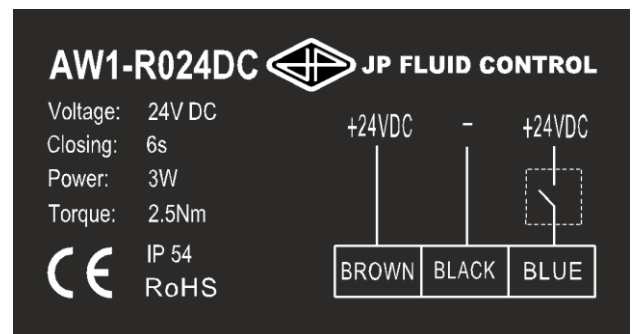
The BW-series are suitable for continuous use. High switching frequencies and high pressures can reduce the lifespan.

1.6. Compliance

The actuators are CE and UKCA marked and comply with the LVD Directive (2006/95/EC), EMC Directive (2004/108/EC) and the Electromagnetic Compatibility (Safety) Regulations 2016, provided that the cables and connectors are properly connected.

1.7. Identification

The following figure shows an example of the type plate of the actuator. Observe the specifications and the connection diagram before using the product.



2. GENERAL SAFETY INSTRUCTIONS

Please read the safety instructions before installing, using or maintaining the device.

- ▶ This device will contain gas and/or liquid under pressure. The actuator only complies protection class IP54 (according to IEC 60529), if the device is properly connected. Improper use may be hazardous.
- ▶ This product is not a safety device and may not be used as such.
- ▶ Never put your hands/body parts or other objects into ports of the valve. The rotating ball can cause serious injuries or damages.
- ▶ Correct transport, proper storage and installation, and proper use and maintenance, are essential for reliable and error-free operation. The product may not function properly as a result of dirt, wear, damage (for example, by dropping) or improper use. Therefore, the product should not be used in applications where a malfunction can cause danger or damage.
- ▶ Check the compatibility of the medium used, temperature and other operating conditions with the materials and specifications of the product. It is the responsibility of the user to select the right product for the application.
- ▶ This product is not intended or approved for medical applications, food and/or application in gas appliances.
- ▶ Never exceed the limits for pressure, temperature or voltage as indicated on the product and/or in the technical documentation.
- ▶ It is not allowed to change the construction of this device.
- ▶ Beware of electric shock when working with electrical equipment.

3. INSTALLATION AND MAINTENANCE

3.1 Safety Instructions

- ▶ It is recommended to install the electric ball valve in a dry environment. In moist environments, make sure that no moisture can penetrate the actuator. Install the ball valve in a safe way to avoid electric shock, burning or other injuries. Make sure the electric ball valve is not in contact with or in the vicinity of flammable materials. Ensure that the product is protected from frost. Frost may damage the product and/or block the moving parts, causing the electric ball valve to malfunction.
- ▶ Maintenance may only be performed when the system is not pressurized, electrically disconnected and cooled down.
- ▶ Turn off the power supply before performing any work on the electric ball valve to prevent the risk of electrical shock and to prevent activation of the actuator.
- ▶ The product is only safe when properly installed and operated by qualified persons. Please read the safety instructions and technical documentation carefully before installation, use or maintenance.
- ▶ Ensure a controlled commissioning after installation or maintenance.

3.2 Installation

Clean fluids and gases

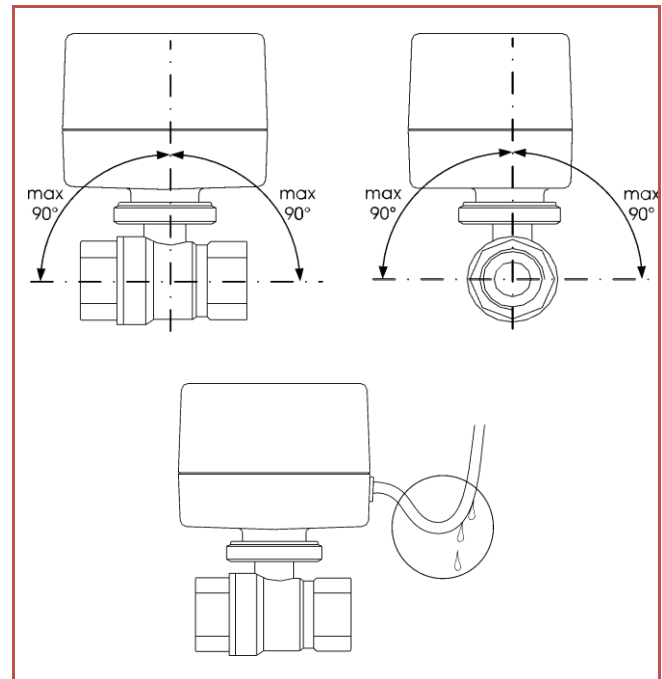
It is recommended to use electrical ball valves in combination with clean liquids or gases. Dirt can cause excessive wear. Make sure that the pipes don't contain dirt before installing the device. Optionally, install a filter (500 µm) upstream of the electric ball valve.

Mounting the valve

The pipes on both sides of the valve must be securely fastened. During installation, make sure that force may only be exercised at designated areas on the valve, such as the hexagon; never on the actuator. Avoid vibration in the pipes. Use a suitable sealant for threaded connections of the ball valve. Avoid the entry of thread sealing material in the valve, this can lead to malfunctioning of the valve.

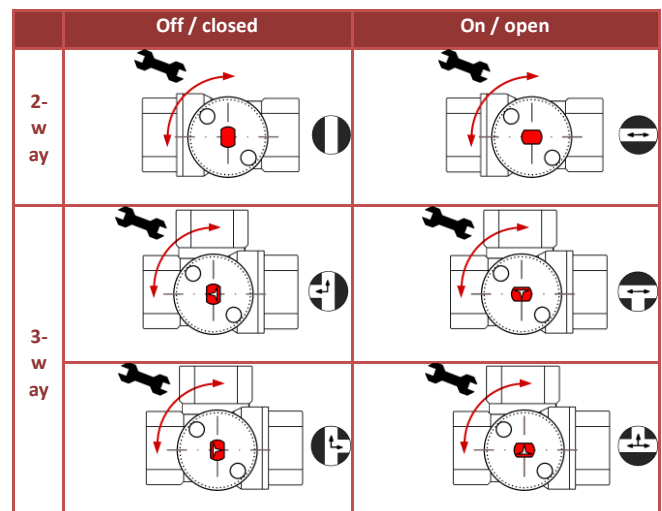
Position

It is recommended to install the electric ball valve in vertical position with the actuator facing upwards. This reduces the probability of the collection of moisture in the actuator. When the electric ball valve is mounted at an angle, it is recommended to deviate maximally 90° from the vertical position. Ensure that drops cannot slip along the cable and enter the actuator.



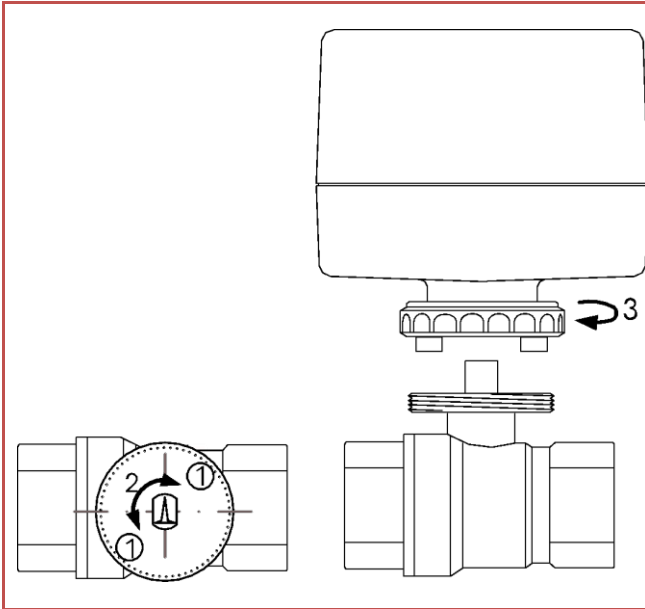
Installation of the actuator on the coil

- ▶ The device can be damaged by the use of unsuitable tools.
- ▶ The 3-way valves can be installed in two different ways by rotating the ball 180°.





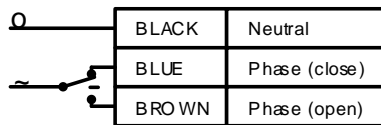
- ▶ The actuator needs to be attached with the aid of the nut present.
- ▶ Make sure that the ball is in the correct position. If necessary, adjust the position (2) using a wrench.
- ▶ The actuator is into the valve body (two ways) with 2-pin (1). Tighten the nut securely (3), so there is no clearance between the actuator and the valve.



3.3 Electrical Wiring Diagram

Verify that the actuator code matches the connection diagram. Improper installation can permanently damage the actuator or lead to dangerous situations. The actuators have internal position switches, which results that only energy consumed during opening and closing.

AW1-230AC, AW1-024AC (3-point)



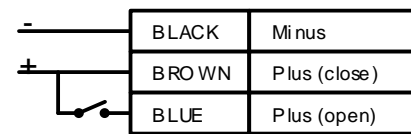
Connecting the blue control wire opens the valve in 16s. Connecting the blown control wire close the valve in 16s. If both control wires are disconnected, the valve will remain in the current position. In this way, the position of the valve can be regulated. **Never connect the blue and brown control wires at the same time!** This will damage the actuator. The actuator consumes energy only during opening and closing.

AW1-R230AC, AW1-R024AC (ON/OFF, INTERNAL RELAIS)



Connecting the control wire (black) opens the valve in 16s. Once the control wire shuts down, the valve closes in 16s. The actuator consumes energy only during opening and closing.

AW1-R024DC, AW1-R012DC (ON/OFF, INTERNAL RELAIS)



Connecting the control wire (blue) opens the valve in 6s. Once the control wire shuts down, the valve closes in 6s. The actuator consumes energy only during opening and closing.

AW1-024DC, AW1-012DC (3-point)



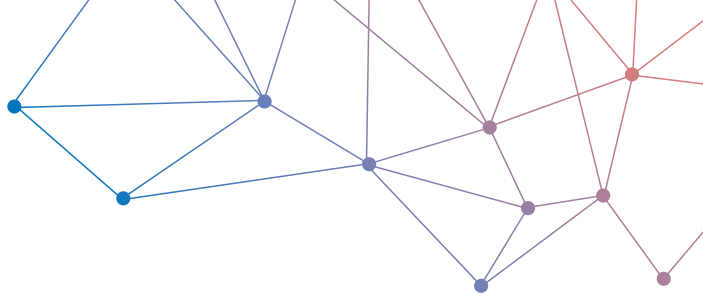
Connecting the brown control wire, the valve closes in 6s. Connecting the black control wire, the valve opens in 6s. If both control wires are disconnected, the valve will remain in the current position. In this way, the position of the valve can be regulated. **Never connect the black and brown control wires at the same time!** This will damage the actuator. The actuator consumes energy only during opening and closing.

4. SPARE PARTS

The valve bodies and actuators of the BW and AW1 series are exchangeable. If only one component is defective, this part can be replaced.

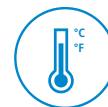
5. DISPOSAL

The removal of the product should be performed in accordance with the applicable laws. Keep in mind the media that are still present in the valve.



FICHA TÉCNICA

Sondas de medición y cables para registradores autónomos KISTOCK modelos clase 220





Sonda de temperatura NTC

Las sondas de temperatura disponen de un sensor NTC. Cada una de estas sondas tiene un conector mini-DIN de 8 pines.

Referencia	Descripción	Rangos de medición y precisiones*
KSI-50 / KSI-150	  <p>Sonda de uso general IP65 Vaina INOX. Dimensiones de la vaina Ø 4.5 x 50 mm (ref. KSI 50) o Ø 4.5 x 150 mm (ref. KSI 150) Salida en cable de PVC HT de longitud 2 m</p>	De -40 a +120 °C ±0.4 °C de -20 a +70 °C ±0.8 °C fuera
KSA-150	 <p>Sonda de ambiente Vaina INOX. Dimensiones de la vaina Ø 4.5 x 150 mm con vaina perforada. Salida en cable de PVC HT de longitud 2 m</p>	De -40 a +120 °C ±0.4 °C de -20 a +70 °C ±0.8 °C fuera
KSF-2	 <p>Sonda de hilo Ø 3 mm con salida en cable de PVC HT de longitud 2 m</p>	De -20 a +100 °C ±0.4 °C de -20 a +70 °C ±0.8 °C fuera
KSP-150	  <p>Sonda de inserción IP68 Con vaina INOX. Dimensiones de la vaina Ø 3 x 150 mm con vaina inox Ø 10 mm. Salida en cable de PVC de longitud 1 m</p>	De -40 a +120°C ±0.4°C de -20 a +70°C ±0.8°C fuera
KSP-150	  <p>Sonda de penetración IP65 Punta de acero inoxidable. Tamaño de punta: Ø 4.5 x longitud 150 mm. Salida en cable PVC de 1 m longitud.</p>	De -40 a +120 °C ±0.4 °C de -20 a +70 °C ±0.8 °C fuera
KCV-220	 <p>Sonda con velcro Salida en cable PVC de 2 m de longitud. Tamaño elemento sensor: Ø 4.5 x 150 mm Longitud del velcro: 350 mm</p>	De -20 a +90 °C ±0.4 °C de -20 a +70 °C ±0.8 °C fuera

Sondas termohigrométricas

Las sondas de temperatura e higrometría tienen un sensor NTC para temperatura y un elemento sensor capacitivo para higrometría. Tienen un conector mini-DIN de 8 pines.

Referencia	Descripción	Rangos de medición y precisiones*
KTHA	 <p>Sonda de termohigrometría intercambiable para ambiente Cuerpo de sonda en ABS, longitud 65 mm con filtro inox y conector mini-Din.</p>	<p>Higrometría** (capacitivo): De 0 a 100%HR Precisión (Repetibilidad, linealidad, histéresis): ±2%HR (de 15°C a 25°C y de 5 a 95%RH)</p>
KTHD	 <p>Sonda de termohigrometría intercambiable remota Cuerpo de sonda en ABS, longitud 130 mm con filtro inox, cable PVC longitud 2 m con conector mini-Din.</p>	<p>Temperatura (NTC): De -20 a +70°C ±0.4°C de 0 a 50°C ±0.8°C por debajo 0°C o por encima 50°C</p>



Estanca a las proyecciones de agua






Estanca en inmersiones prolongadas

*Establecidas en condiciones de laboratorio, las exactitudes presentadas en este documento se mantendrán bajo reserva de aplicar las compensaciones necesarias o de trabajar en condiciones idénticas.
** Incertidumbre de ajuste en fábrica: ±0.88%HR. Deriva ligada a la temperatura: ±0.04 x (T-20) %HR (si T<15°C o T>25°C)


Cables de entrada de corriente, tensión y de entrada de impulsos

Los cables de entrada de corriente, tensión e impulsos disponen de un cable PVC 2 m y de un conector mini-DIN de 8 pines.

Referencia	Descripción	Rangos de medición y precisiones*
KCTD-10-B 	Cable de entrada de tensión Rango: 0 – 5 V ó 0 – 10 V	De 0 a 5/10 V ±0.2% del v.m ±1mV
KCCD-02-B 	Cable de entrada de corriente Rango: 0 – 20 mA ó 4 – 20 mA	De 0/4 a 20 mA ±0.2% del v.m ±1µA
KCTD-I-B 	Cable de entrada de impulsos	Tensión máxima: 5 V Tipo de entrada: contaje de frecuencia TTL Frecuencia máxima: 10 kHz Número máximo de pulsos registrables: 20 000

Sondas de presión relativa (presión de fluido)

La sonda de presión de fluido para Kistock de clase 220 dispone de un sensor de presión para líquidos y gases. Dispone de un cable PVC 2 m y de un conector mini-Din de 8 pines.

Referencia	Descripción	Rangos de medición y precisiones*
KSPE-2 	Sonda de presión relativa, rango de 0 a 20 bar para líquidos y gases (no corrosivos). Cuerpo de sonda en acero inox, longitud 93 mm con rácor 1/8" gas. Temperatura de uso: Temperatura ambiental: de -20 a 80 °C Temperatura del fluido: de -40 a 120 °C Sobrepresión máxima: 40 bars	De 0 a 20 bar ±0.2 bar

Pinzas amperimétricas

Las pinzas amperimétricas disponen de un cable PVC 2 m y de un conector mini-DIN de 8 pines.

Referencia	Descripción	Rangos de medición y precisiones*
KIPID-50-BRF KIPID-100-BRF KIPID-200-BRF  	Pinza amperimétrica KIPID-50-BRF Rango de 0 a 50 A	De 0 a 50 A ±1% del v.m ±0.1A Rango de frecuencia: de 40 Hz a 5000 Hz
	Pinza amperimétrica KIPID-100-BRF Rango de 0 a 100 A	De 1 a 100 A ±1% del v.m ±0.1A Rango de frecuencia: de 40 Hz a 5000 Hz
	Pinza amperimétrica KIPID-200-BRF Rango de 0 a 200 A	De 1 a 200 A ±1% del v.m ±0.2A Rango de frecuencia: de 40 Hz a 5000 Hz
KIPID-600-BRF  	Pinza amperimétrica KIPID-600-BRF Rango de 0 a 600 A	De 1 a 600 A ±2.5% del v.m ±0.6A Rango de frecuencia: de 40 Hz a 5000 Hz

*Establecidas en condiciones de laboratorio, las exactitudes presentadas en este documento se mantendrán bajo reserva de aplicar las compensaciones necesarias o de trabajar en condiciones idénticas.



AT014 Transmisor de temperatura/ Sensor de temperatura G1/2A 50 mm

Image not found.

46,50 €

Precio fuera de línea
49,21 €

Incl. 5,5 % de descuento para pedidos en línea

Visión de conjunto

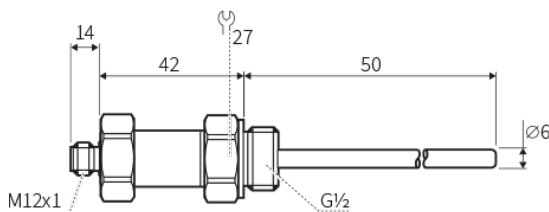
- Transmisor de temperatura con conector M12 (2 polos)
- Salida analógica 4...20 mA
- El diámetro del tubo protector es de 6 mm
- adecuado para la supervisión de temperatura de depósitos y tuberías para fluidos líquidos y gaseosos
- Grado de protección IP65

Se utiliza a diario y ha demostrado su eficacia millones de veces. Los productos de autosen se fabrican con los más altos estándares de calidad en términos de robustez, resistencia y fiabilidad. Le ofrecemos 5 años de garantía - ¡Con garantía de devolución de su dinero!

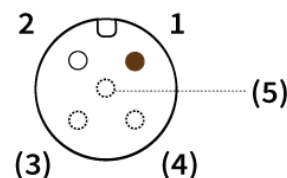
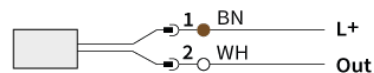
www.autosen.com/AT014

Enlace directo al artículo en autosen.com

Dibujo a escala



Asignación de pines y conexiones



Haga su pedido en línea en www.autosen.com

Pedido telefónico
Pedidos por fax

+34 (91) 048 3153
+34 (91) 048 3153

autosen gmbh • Annastraße 41 • 45130 Essen (Alemania)

www.autosen.com • info@autosen.com

Queda reservado el derecho a realizar modificaciones sin aviso previo. - 12/01/2026



Información general

Campo de aplicación	Fluidos líquidos y gaseosos
Resistencia al punto de rocío	No
Resistencia a la presión	40 bares
Rango de medición de temperaturas mín.	-20°C
Rango de medición de temperaturas máx.	120°C

Salidas / Entradas

Salida analógica	4 ... 20 mA
Observación sobre la salida analógica	Para la utilización con salida analógica, deben utilizarse únicamente cables de sensor sin LED
IO-Link	No

Datos eléctricos

Tensión de alimentación	12 ... 34 V CC
Tipo de tensión	Tensión continua (CC)
Alimentación	PNP
Consumo de corriente máx.	20mA
Clase de protección	III
Protección contra cortocircuitos	sí
Resistente a sobrecargas	sí
Protección contra inversión de polaridad	sí

Datos mecánicos

Diámetro de varilla	6 mm
Material de la carcasa	V2A (1.4305) PA
Conexión eléctrica	M12 2 polos
Conexión al proceso	Rosca macho G 1/2
Longitud de montaje EL	50 mm

Precisión

Dinámica de respuesta T05 / T09	T05 = 6 s / T09 = 12 s
Precisión	± 0,2 K + máx. 1,5 % FS*
Observación	*FS: Fullscale (rango de medición completo)

Condiciones ambientales

Temperatura ambiente mín.	-30°C
Temperatura ambiente máx.	70°C
Grado de protección	IP65

Haga su pedido en línea en www.autosen.com

Pedido telefónico **+34 (91) 048 3153**
Pedidos por fax **+34 (91) 048 3153**

autosen gmbh • Annastraße 41 • 45130 Essen
(Alemania)

www.autosen.com • info@autosen.com

Queda reservado el derecho a realizar modificaciones sin aviso
previo. - 12/01/2026



Más información

Indicación de funcionamiento	No
Accesorios incluidos	Junta
Comprobación CEM	DIN EN 61326-2-1
Autorización	CE

Haga su pedido en línea en www.autosen.com

Pedido telefónico +34 (91) 048 3153
Pedidos por fax +34 (91) 048 3153

autosen gmbh • Annastraße 41 • 45130 Essen
(Alemania)

www.autosen.com • info@autosen.com

Queda reservado el derecho a realizar modificaciones sin aviso
previo. - 12/01/2026



Accesorios: Pantallas para sensores analógicos

	AG002 Pantalla TFT para sensores	Precio unitario: 185,07 €*		AG001 Pantalla LED para señales estándar analógicas	Precio unitario: 92,43 €*
	AD003 Pantalla para señales analógicas	Precio unitario: 110,36 €*		AN004 Relé multifunción para sensores	Precio unitario: 152,63 €*

Accesorios: Cable de conexión M12/M12 | 4 polos | PUR | IP69K

	AA205 Cable de conexión M12/M12, 4 p., PUR, 10 m, IP69K	Precio unitario: 22,15 €*		AA202 Cable de conexión M12/M12, 4 p., PUR, 5 m, IP69K	Precio unitario: 17,28 €*
	AA201 Cable de conexión M12/M12, 4 p., PUR, 2 m, IP69K	Precio unitario: 14,11 €*			

Accesorios: Cable sensor M12 | 4 polos | PUR | IP67

	AA052 Cable de sensor PUR M12 4polos 2m IP67	Precio unitario: 6,07 €*		AA054 Cable de sensor PUR M12 4polos 2m IP67	Precio unitario: 6,45 €*
	AA053 Cable de sensor PUR M12 4polos 5m IP67	Precio unitario: 8,15 €*		AA055 Cable de sensor PUR M12 4polos 5m IP67	Precio unitario: 8,65 €*

Accesorios: Cable de sensor M12 | 4 polos | PVC | IP67

	AA042 Cable de sensor PVC M12 4polos 10m IP67	Precio unitario: 10,97 €*		AA039 Cable de sensor PVC M12 4polos 10m IP67	Precio unitario: 10,58 €*
	AA041 Cable de sensor PVC M12 4polos 5m IP67	Precio unitario: 8,22 €*		AA038 Cable de sensor PVC M12 4polos 5m IP67	Precio unitario: 7,80 €*
	AA040 Cable de sensor PVC M12 4polos 2m IP67	Precio unitario: 6,00 €*		AA037 Cable de sensor PVC M12 4polos 2m IP67	Precio unitario: 5,97 €*
	AA064 Cable de sensor PVC M12 4polos 2m IP67	Precio unitario: 4,52 €*		AA066 Cable de sensor PVC M12 4polos 2m IP67	Precio unitario: 4,83 €*
	AA065 Cable de sensor PVC M12 4polos 5m IP67	Precio unitario: 6,05 €*		AA067 Cable de sensor PVC M12 4polos 5m IP67	Precio unitario: 6,43 €*

Accesorios: Cable de sensor M12 | 4 polos | PVC | IP69K

	AA025 Cable de sensor PVC M12 4polos 25m IP69K	Precio unitario: 23,59 €*		AA024 Cable de sensor PVC M12 4polos 10m IP69K	Precio unitario: 15,12 €*
	AA023 Cable de sensor PVC M12 4polos 5m IP69K	Precio unitario: 12,31 €*		AA031 Cable de sensor PVC M12 4polos 2m IP69K	Precio unitario: 12,04 €*

Haga su pedido en línea en www.autosen.com

Pedido telefónico
Pedidos por fax

+34 (91) 048 3153
+34 (91) 048 3153

autosen gmbh • Annastraße 41 • 45130 Essen
(Alemania)

www.autosen.com • info@autosen.com

Queda reservado el derecho a realizar modificaciones sin aviso previo. - 12/01/2026



Accesorios: Cable de sensor M12 | 4 polos | PUR | IP69K



AA017

Cable de sensor PUR M12 4polos
10m IP69K

Precio unitario: 13,44 €*



AA006

Cable de sensor PUR M12 4polos
5m IP69K

Precio unitario: 10,92 €*



AA005

Cable de sensor PUR M12 4polos
2m IP69K

Precio unitario: 9,36 €*

Accesorios: Conector M12 | 4 polos | Enchufe



AA946

Conector macho a cablear
acodado M12

Precio unitario: 7,01 €*



AA921

Conector macho a cablear M12

Precio unitario: 7,01 €*



AA961

Conector macho a cablear
acodado M12 IP69K

Precio unitario: 15,00 €*



AA959

Conector macho a cablear recto
M12 IP69K

Precio unitario: 15,00 €*

Accesorios: Conector M12 | 4 polos | Caja



AA947

Conector hembra a cablear
acodado M12

Precio unitario: 6,91 €*



AA939

Conector hembra a cablear M12

Precio unitario: 6,91 €*



AA962

Conector hembra a cablear
acodado M12 IP69K

Precio unitario: 15,00 €*



AA960

Conector hembra a cablear recto
M12 IP69K

Precio unitario: 15,00 €*

Accesorios: Distribuidor en Y



AA046

Cable distribuidor en Y
M12/2xM12

Precio unitario: 18,67 €*



AA922

Repartidor en Y M12/2xM12

Precio unitario: 12,27 €*

Haga su pedido en línea en www.autosen.com

Pedido telefónico
Pedidos por fax

+34 (91) 048 3153
+34 (91) 048 3153

autosen gmbh • Annastraße 41 • 45130 Essen
(Alemania)

www.autosen.com • info@autosen.com

Queda reservado el derecho a realizar modificaciones sin aviso
previo. - 12/01/2026





Aplicaciones



Las válvulas motorizadas serie H de Danfoss, actuadas mediante termostatos, cronotermostatos, etc, se utilizan para control de caudal en sistemas de calefacción y refrigeración en aplicaciones domésticas y comerciales.

Han sido diseñadas y construidas para un elevado número de operaciones en condiciones extremas de alta temperatura y rápidas fluctuaciones de presión.

Estas válvulas basadas en diseños tradicionales pero mejoradas por el departamento de desarrollo, garantizan una excelente robustez y eficiencia de operación. El obturador recubierto de policarbonato, paleta o zapata, asegura una excelente estanqueidad en controles de calidad a altas presiones, lo que representa una característica extra en este tipo de válvulas.

Todas las válvulas serie H pueden suministrarse con el cuerpo y actuador por separados o como válvula completa.

Los actuadores pueden montarse al cuerpo de válvula en la instalación, en función de las condiciones de la misma.

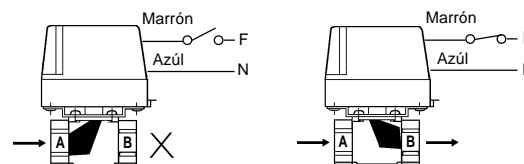
Disponibles en tipos paleta o zapata rotativa, las válvulas serie H ofrecen al instalador la posibilidad de elegir la más apropiada para la instalación. La gama de modelos cubre virtualmente todas las necesidades, por ejemplo, 2 ó 3 vías, diversoras o posición intermedia, tamaños con medidas 15, 22 y 28 mm, y racor de compresión para tubo de cobre y tamaños 1/2", 1/3" y 1", rosca BSP.

Características

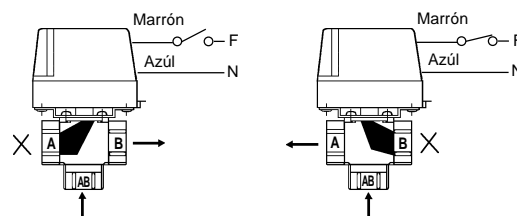
- Elección del modelo en función de cada instalación.
- Fiabilidad comprobada.
- Funcionamiento sin averías durante un elevado número de operaciones.
- Actuadores y cuerpos suministrados por separado, opcional.
- Instalación y cableado sencillo.
- Racores de conexión y colores de cables standard para su fácil instalación.
- Construcción robusta.
- Coste bajo.

Configuración Válvula/Actuador

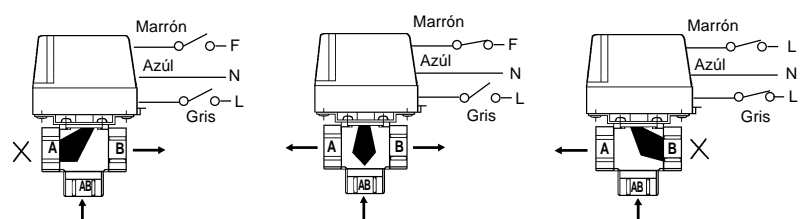
VÁLVULAS DE 2 VÍAS



VÁLVULA DIVERSORA DE 3 VÍAS



VÁLVULA DE POSICIÓN INTERMEDIA DE 3 VÍAS



Especificación Técnica Válvulas motorizadas serie H

Codificación

Código	Tamaño	Descripción	Kv (m3/hr)	Máx. Presión Dif. (bar)	Máx. Presión (bar)	Máx. Temp (°C)
Cuerpo de paleta - 2 vías						
0HPV15B0	15mm	Compresión externa	3.0	1.0	10.0	95
0HPV22B0	22mm	Compresión externa	5.8	1.0		
0HPV28B0	28mm	Compresión externa	7.9	0.7		
0HPV05B0	1/2"	Rosca hembra BSP	3.0	1.0		
0HPV75B0	3/4"	Rosca hembra BSP	5.8	1.0		
0HPV10B0	1"	Rosca hembra BSP	7.9	0.7		
Cuerpo de paleta - 3 vías						
0HSV3B15	15mm	Compresión externa	3.0	1.0	10.0	95
0HSV3B22	22mm	Compresión externa	6.1	1.0		
0HSVB28	28mm	Compresión externa	7.9	0.7		
0HSV3B05	1/2"	Rosca hembra BSP	3.0	1.0		
0HSV3B75	3/4"	Rosca hembra BSP	6.1	1.0		
0HSV3B10	1"	Rosca hembra BSP	7.9	0.7		
Cuerpo de zapeta - 2 vías						
0HPV1500	15mm	Compresión externa	3.3	1.0	10.0	95
0HPV2200	22mm	Compresión externa	8.2	1.0		
0HPV2800	28mm	Compresión externa	15.0	0.7		
0HPV0500	1/2"	Rosca hembra BSP	3.3	1.0		
0HPV0750	3/4"	Rosca hembra BSP	8.2	1.0		
0HPV1000	1"	Rosca hembra BSP	15.0	0.7		
Cuerpo de zapeta - 3 vías						
0HSV3000	22mm	Compresión externa	6.8	1.0	10.0	95

Nota: Todas las válvula pueden utilizarse en mezcla agua/glicol 60/40%

Códigos de Actuadores

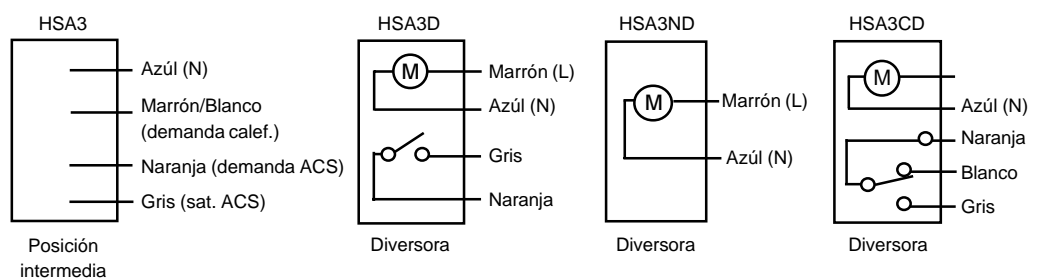
Código	Descripción	Detalles de Contactos aux.	Compatibilidad de cuerpo de válvula		
			HPV... 2 vías	HSV... diversora de 3 vías	HSV... pos. interm. de 3 vías
0HPA2000	Actuador 2 vías	Ninguno	●		
1HPA2000	Actuador 2 vías SPST	SPST	●		
1HPA2C00	Actuador 2 vías SPDT	SPDT	●		
0HSA3D00	Actuador 3 vías	Ninguno		●	
1HSA3D00	Actuador 3 vías SPST	SPST		●	
1HSA3CD0	Actuador 3 vías SPDT	SPDT		●	
1HSA3000	Actuador pos. intermedia	SPST (con. intern.)			●

Características técnicas

Cuerpo	
Cuerpo y asiento	Bronce fundido o estampado en caliente
Empaquetadura	Etileno-propileno THK
Juntas	Elastomero, Fluorobon
Paleta	Elastomero, Nitrilo
Zapata	Grafito recubierto de teflón
Actuador	
Alimentación *	220/240 V.c.a., 50/60Hz
Máx. Consumo	6 W
Máx. Temp. ambiente	45°C
Tiempo de apertura	< 35 seg.
Tiempo de cierre	< 20 seg.
Carga del contacto	3 (1) A, 220/240Vac, 50/60Hz
Protección	IP40

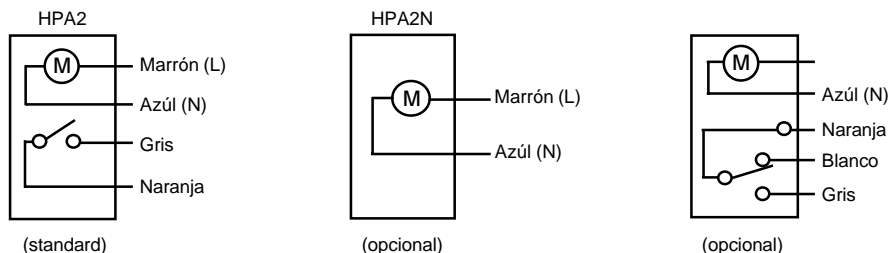
* Disponible también en versiones 24V y 110V.

Conexiones eléctricas, Actuador de 3 vías

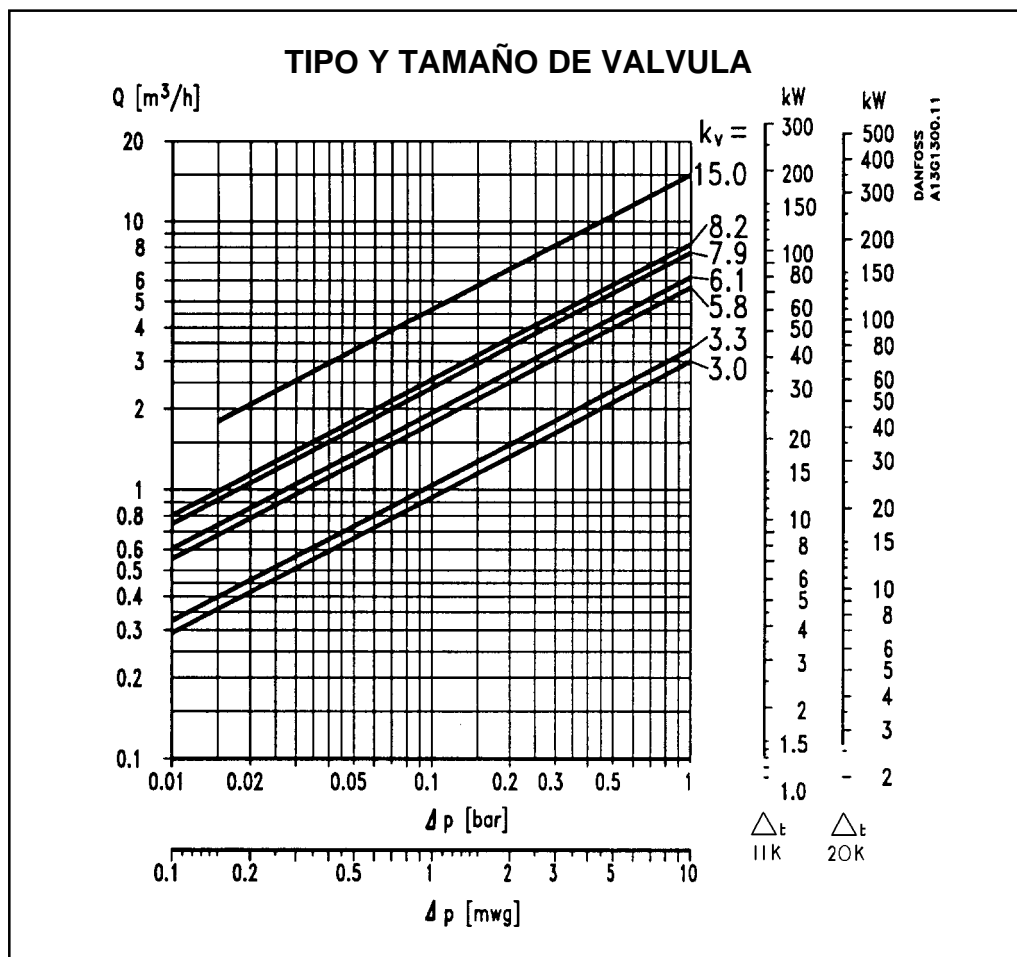


Especificación Técnica Válvulas motorizadas serie H

Conexiones eléctricas, Actuador de 2 vías



Selección



La pérdida de carga de una válvula serie H puede calcularse con el gráfico superior en función del Kv de la válvula.

El gráfico, que muestra los valores del Kv de todas las válvulas serie H en las líneas diagonales, puede utilizarse para el cálculo de la pérdida de carga, conociendo el valor del caudal de l/s. También puede utilizarse cuando el valor de la carga de calor se expresa en Kw.

Para este cálculo se incluyen en el gráfico 2 ejes verticales escalados en Kw para diferencias de temperatura de 11°C y 20°C.

Además, el valor de la pérdida de carga puede calcularse mediante la ecuación:-

$$\Delta P = \left(\frac{Q}{Kv} \right)^2$$

Donde:-
Q = Caudal en (m³/h) (l/s x 3,6)
Kv = Coeficiente de caudal (m³/h)
ΔP = Pérdida de carga de la válvula (bar)

El valor del Kv de cada tipo y tamaño de válvula figura en la tabla de especificaciones de la pag. 2.

Ejemplo de cálculo:

1) Cálculo de la pérdida de carga en una válvula de paleta de 3 vías y tamaño 22mm, (Kv = 6,1), para un caudal de 2.0 m³/h.

Encontrar el punto de intersección entre la línea horizontal correspondiente a Q=2.0 m³/h, y la diagonal de Kv=6,1. Trazar una vertical desde ese punto hasta la intersección con la escala horizontal de P y obtendremos un valor de P=0,11 bar.

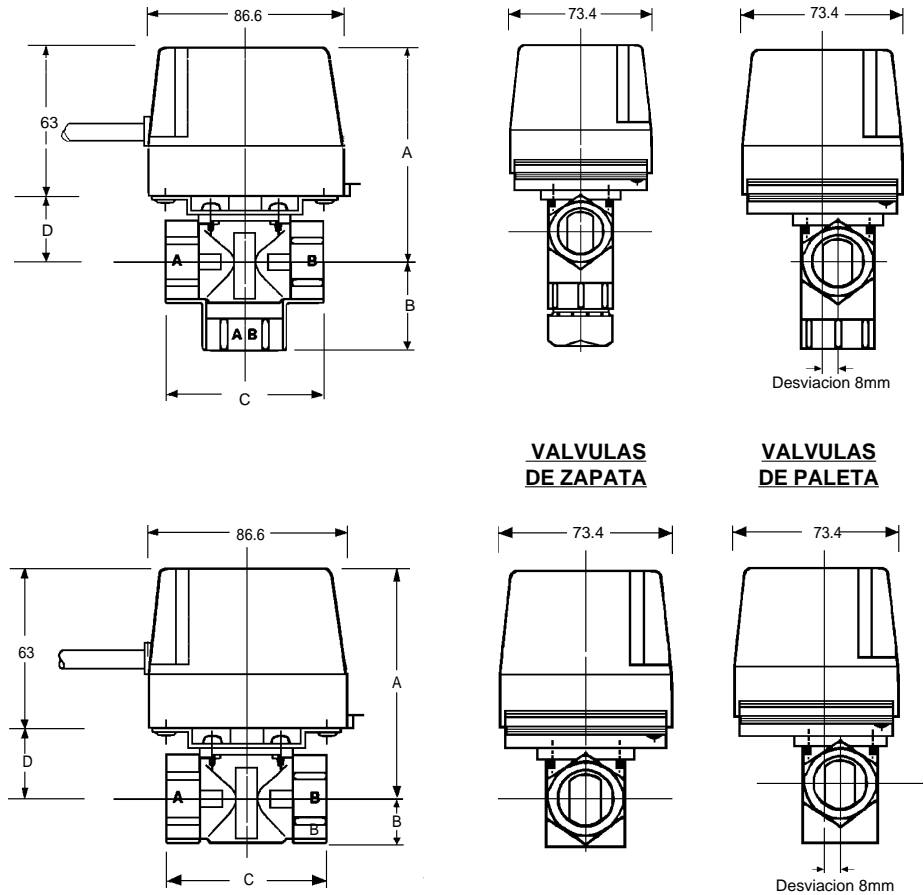
2) Cálculo de la pérdida de carga en una válvula de paleta de 2 vías y tamaño 22mm. (Kv = 5.8), para una carga de calor de 20 Kw. en un sistema que trabaja a una diferencia de temperatura de 11°C.

Encontrar el punto de intersección entre la horizontal correspondiente a 20Kw. y la diagonal de Kv=5.8. Trazar una vertical desde ese punto hasta la intersección con la escala horizontal de P y obtendremos un valor de P= 0.072 bar.

Especificación Técnica Válvulas motorizadas serie H

Dimensiones

3 VIAS



Cuerpo Válvula	Conexiones	A	B	C	D	Cuerpo Válvula	Conexiones	A	B	C	D
VÁLVULA DE PALETA						VÁLVULA DE ZAPETA					
2 Vías						2 Vías					
OHPV15B0	15mm Comp. int.	90.6	17.5	103.0	27.6	OHPV1500	15mm Comp. int.	87.1	13.8	83.5	24.1
OHPV22B0	22mm Comp. ext.	90.6	17.5	112.5	27.6	OHPV2200	22mm Comp. ext.	90.4	17.5	110.0	27.4
OHPV28B0	28mm Comp. ext.	90.6	22.4	128.0	27.6	OHPV2800	28mm Comp. int.	93.6	24.3	108.0	30.6
OHPV05B0	1/2" BSP	90.6	17.5	86.0	27.6	OHPV0500	1/2" BSP	87.1	14.0	65.9	24.1
OHPV75B0	3/4" BSP	90.6	19.0	94.0	27.6	OHPV0750	3/4" BSP	90.5	17.0	77.5	27.5
OHPV10B0	1" BSP	90.6	19.0	97.0	27.6	OHPV1000	1" BSP	93.6	20.6	87.3	30.6
3 Vías						3 Vías					
OHSV3B15	15mm Comp. int.	90.6	54.0	107.5	27.6	OHSV3000	22mm Comp. ext.	90.7	56.0	110.0	27.7
OHSV3B22	22mm Comp. ext.	90.6	57.0	112.5	27.6	Todas las dimensiones en mm. Los cuerpos de válvula y los actuadores pueden suministrarse por separado o montados de fábrica para facilitar la labor del instalador.					
OHSV3B28	28mm Comp. ext.	90.6	71.5	128.0	27.6						
OHSV3B05	1/2" BSP	90.6	45.5	91.0	27.6						
OHSV3B75	3/4" BSP	90.6	50.0	100.0	27.6						
OHSV3B10	1" BSP	90.6	52.0	104.0	27.6						

Danfoss S.A.

Avda. Tenerife n° 22 - Pol. Ind. Norte
 28700 San Sebastián de los Reyes
 (Madrid) Apdo. n° 115

Tel: (91) 663 80 51 - Telefax: (91) 663 62 94 - Telegramas: Danfoss Madrid