



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



GESTIÓN DE ACTIVOS Y ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA AL REÚSO DE AGUAS TRATADAS EN UNA PLANTA EMBOTELLADORA DE BEBIDAS

SANTIAGO CANO GONZÁLEZ

Calle 73 # 73a-226

E.mail: s.cano1059@pascualbravo.edu.co

Medellín – Colombia

Resumen

El uso racional del recurso hídrico es un factor clave para la sostenibilidad industrial y la competitividad en el marco de la economía circular, donde el agua se concibe como un activo estratégico reutilizable. Este trabajo presenta una evaluación técnica, económica y de gestión de activos para la implementación de un sistema de reúso de aguas industriales tratadas en una planta embotelladora, fundamentada en la norma ISO 55000 y el análisis del costo del ciclo de vida (LCC). La propuesta integra tecnologías de filtración, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección UV, articulando criterios RAM (confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad) y financieros para demostrar la viabilidad económica y el valor ambiental y estratégico del reúso del agua.

Planteamiento del Problema

El crecimiento de la demanda hídrica en los procesos industriales, sumado al endurecimiento de la normativa ambiental y a la creciente presión por adoptar modelos productivos sostenibles, plantea desafíos significativos para sectores intensivos en el uso del agua, como la industria de bebidas. Tradicionalmente, el agua ha sido gestionada como un insumo de consumo lineal, lo que se traduce en elevados costos de

abastecimiento, y riesgos asociados al incumplimiento ambiental, además de una limitada valorización del recurso a lo largo de su ciclo de vida.

En este contexto, las plantas embotelladoras enfrentan la necesidad de garantizar la continuidad operativa y la calidad del producto, al tiempo que reducen su huella hídrica y optimizan sus costos totales. Si bien existen tecnologías de tratamiento avanzado capaces de producir agua de alta calidad para su reutilización, la adopción de estos sistemas suele verse limitada por altos costos de inversión, incertidumbre sobre su desempeño a largo plazo y la ausencia de metodologías integrales que permitan evaluar su viabilidad técnica y económica desde una perspectiva de gestión de activos.

Adicionalmente, en muchos casos la toma de decisiones se fundamenta únicamente en análisis de costos iniciales, sin considerar el costo del ciclo de vida, los riesgos operativos ni el valor estratégico del activo, lo que puede conducir a soluciones financieramente inviables. La falta de articulación entre los criterios técnicos de diseño, los principios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad, y los indicadores financieros limita la implementación efectiva de esquemas de reúso del agua alineados con los principios de la economía circular.

Ante este escenario, se identifica la necesidad de desarrollar un enfoque metodológico que integre tecnologías de tratamiento terciario y avanzado



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



con un modelo de gestión de activos conforme a la norma ISO 55000, incorporando el análisis del costo del ciclo de vida como herramienta clave para la toma de decisiones informada, sostenible y orientada a la creación de valor.

Marco Teórico

La gestión de activos se define como un enfoque sistemático orientado a planificar, adquirir, operar, mantener y renovar los activos físicos de una organización con el propósito de maximizar su valor durante todo su ciclo de vida. De acuerdo con la norma ISO 55000, este enfoque integra de manera equilibrada el desempeño técnico, los costos asociados y los riesgos operativos, facilitando la toma de decisiones estratégicas alineadas con los objetivos corporativos de sostenibilidad, eficiencia y cumplimiento regulatorio. En los sistemas industriales de tratamiento de agua, la gestión de activos adquiere una relevancia particular debido al carácter crítico de las instalaciones y equipos involucrados, cuyo desempeño incide directamente en la continuidad de los procesos productivos y en la calidad del recurso hídrico tratado.

En el contexto de plantas embotelladoras, tecnologías como filtración, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección por radiación ultravioleta conforman un conjunto de activos estratégicos que permiten la recuperación y reutilización del agua dentro del proceso. La adecuada gestión de estos activos posibilita no solo asegurar su operación confiable, sino también extender su vida útil, optimizar los recursos destinados al mantenimiento y reducir la probabilidad de fallas que puedan afectar la producción o el cumplimiento ambiental.

El desempeño técnico de los activos se evalúa mediante los principios de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (RAM), ampliamente utilizados en entornos industriales para caracterizar el comportamiento real de los equipos. Estos indicadores permiten analizar la

frecuencia de fallas, los tiempos de recuperación y la capacidad del sistema para mantenerse operativo, aportando información clave para la planificación del mantenimiento y la identificación de activos críticos. Herramientas de análisis de fallas y criticidad complementan este enfoque, permitiendo priorizar intervenciones y minimizar impactos económicos derivados de la indisponibilidad operativa.

De forma complementaria, el Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC), respaldado por normas como ISO 15663 y UNE 60300-3-3, proporciona un marco metodológico para estimar el costo total de un activo desde su adquisición hasta su disposición final. Este enfoque integra los costos de inversión, operación, mantenimiento y reposición, permitiendo evaluar la viabilidad económica de distintas alternativas tecnológicas más allá del costo inicial. En sistemas de tratamiento avanzado de agua, caracterizados por consumos energéticos continuos y reemplazos periódicos de componentes, el LCC se convierte en una herramienta esencial para justificar inversiones y optimizar el costo total de propiedad. Finalmente, este marco teórico se articula con los principios de la economía circular del agua, que promueven la reutilización del recurso dentro del sistema productivo en lugar de su disposición final. Desde la perspectiva de gestión de activos, esta visión permite considerar el agua tratada como un recurso renovable interno, generando beneficios ambientales, operativos y económicos medibles. La integración de gestión de activos, análisis RAM, LCC y economía circular constituye así un enfoque coherente y sostenible para la toma de decisiones en sistemas industriales de tratamiento y reúso de agua.

Metodología

La investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, descriptivo y analítico, orientado a evaluar la viabilidad técnica, económica y de sostenibilidad de un sistema de reutilización de



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



aguas industriales tratadas, mediante la aplicación de los principios de la gestión de activos basada en el ciclo de vida y la economía circular. El estudio integró herramientas de ingeniería de confiabilidad, análisis financiero y evaluación ambiental dentro de un modelo de gestión de activos alineado con la norma ISO 55000, con el propósito de demostrar la generación de valor económico, social y ambiental a lo largo de la vida útil del activo.

Se adoptó un diseño de investigación aplicada, sustentado en un caso real desarrollado en una planta embotelladora de bebidas ubicada en Colombia. El proceso metodológico se estructuró de manera secuencial, iniciando con la definición del contexto, el alcance del activo y la caracterización del sistema existente, en el cual parte del agua tratada era vertida al efluente final, generando costos por tasas ambientales y pérdida de un recurso potencialmente reutilizable. A partir de este diagnóstico, se establecieron los objetivos de desempeño, confiabilidad y sostenibilidad del sistema propuesto.

Posteriormente, se realizó la recolección de información técnica y económica, incluyendo caudales, consumo energético, costos de agua potable, tarifas de vertimiento y presupuestos de inversión, operación y mantenimiento. Con base en esta información, se definió el esquema técnico del sistema de tratamiento terciario y avanzado, compuesto por filtración, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección UV, seleccionado para garantizar la calidad del agua requerida para su reutilización en procesos no críticos de la planta.

El análisis económico se efectuó mediante el Análisis del Costo del Ciclo de Vida (LCC), conforme a las normas ISO 15663 y UNE 60300-3-3, incorporando costos de adquisición, instalación, operación, mantenimiento y disposición final. Los flujos de caja se actualizaron a valor presente utilizando una tasa de descuento asociada al costo de capital de la empresa, permitiendo calcular los indicadores financieros de rentabilidad: Valor Presente Neto (VPN), Tasa

Interna de Retorno (TIR) y Payback, siguiendo el modelo desarrollado por el ingeniero Juan Fredy Jaramillo Echeverry.

De manera complementaria, se evaluaron los indicadores de confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad (RAM) bajo los lineamientos de la norma ISO 14224, estimando parámetros como MTBF, MTTR y disponibilidad global, apoyados en un análisis de modos y efectos de falla (FMECA). Los resultados del análisis RAM se integraron al modelo LCC, considerando el costo asociado a la indisponibilidad del sistema.

Finalmente, la evaluación de sostenibilidad y circularidad se realizó mediante indicadores de eficiencia de recuperación del agua, reducción de huella hídrica, retorno ambiental neto e índice de circularidad del activo, calculados a partir de los volúmenes reutilizados y los costos evitados. La validación del modelo se efectuó mediante comparación con estudios previos y un análisis de sensibilidad frente a variaciones en costos energéticos, tarifas de agua y tasa de descuento, verificando la coherencia de los resultados con los principios de la ISO 55000.

Datos Reales y Supuestos

Escenario operativo línea base vs. sistema de reúso: El punto de partida del análisis fue la caracterización hidráulica y operativa real de la planta embotelladora. Se identificó que la PTAR procesa en promedio 6.300 m³/mes de aguas industriales provenientes de procesos de lavado, enjuague y servicios auxiliares. En el esquema actual, este volumen tratado se dispone casi en su totalidad como vertimiento, lo que implica doble impacto económico: pago por tasas ambientales y necesidad de adquirir agua potable para sostener la operación.

El modelo propuesto transforma este comportamiento lineal en un esquema circular, mediante la incorporación de un sistema terciario que permite reutilizar el agua tratada en procesos



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



no críticos. Como se observa en la Tabla I, el sistema permite recuperar aproximadamente el 95 % del volumen tratado (5.985 m³/mes), reduciendo el vertimiento a 315 m³/mes y disminuyendo el consumo de agua potable en un 93 %. Esta modificación no solo impacta el balance hídrico, sino que redefine estructuralmente la dependencia del recurso externo.

Tabla I

Variable	Línea base	Sistema propuesto	Impacto
Caudal tratado	6.300 m ³ /mes	6.300 m ³ /mes	—
Volumen reutilizado	0 m ³ /mes	5.985 m ³ /mes	+95 %
Vertimiento	6.300 m ³ /mes	315 m ³ /mes	-95 %
Consumo agua potable	6.300 m ³ /mes	441 m ³ /mes	-93 %
Modelo hídrico	Lineal	Circular	

Estructura de inversión y desempeño económico: Desde la perspectiva financiera, el proyecto fue evaluado bajo un enfoque de costo del ciclo de vida, incorporando inversión inicial, costos operativos y beneficios económicos derivados del ahorro en compra de agua y reducción de vertimientos. La inversión total (CAPEX) ascendió a 2.900 millones COP, incluyendo adquisición de equipos, instalación, integración hidráulica y puesta en marcha.

A partir de las tarifas reales de agua potable y vertimiento, junto con los costos energéticos y de mantenimiento estimados del sistema, el modelo proyectó un ahorro neto anual de 785,4 millones COP. Bajo un horizonte de evaluación de 15 años y aplicando una tasa de descuento coherente con el costo de capital empresarial, los resultados financieros evidencian creación de valor sostenible, como se detalla en la Tabla II.

Tabla II

Indicador	Resultado
CAPEX	2.900 millones COP
Ahorro neto anual	785,4 millones COP/año
VPN (15 años)	1.709 millones COP
TIR	21,6 %
Payback	6,3 años

Los indicadores muestran un proyecto con TIR superior al costo de capital y un VPN ampliamente positivo, lo que confirma que la reutilización no solo es ambientalmente responsable, sino financieramente viable.

Desempeño técnico y confiabilidad (RAM): La evaluación técnica se desarrolló bajo la metodología RAM (Reliability, Availability, Maintainability), integrando datos de sistemas comparables y lineamientos de ISO 14224. Se estimaron tiempos medios entre fallas (MTBF) y tiempos medios de reparación (MTTR), incorporando estrategias de mantenimiento preventivo y disponibilidad de repuestos críticos.

Los resultados obtenidos indican un desempeño técnico acorde con procesos industriales continuos. Como se presenta en la Tabla III, el sistema alcanza una disponibilidad global de 99,76 %, lo que limita la indisponibilidad anual a aproximadamente 21,5 horas. Este nivel de desempeño es determinante, ya que la viabilidad económica del modelo depende directamente de la continuidad operativa del activo.

Tabla III

Indicador	Resultado
MTBF	1.400 h
MTTR	4,8 h
Disponibilidad	99,76 %
Horas indisponibilidad/año	≈21,5 h



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



Indicadores ambientales y de circularidad: Desde el enfoque de economía circular y huella hídrica, el proyecto fue evaluado mediante indicadores que permiten cuantificar la regeneración del recurso y su traducción en valor económico. La eficiencia de recuperación alcanzó el 95 %, mientras que la reducción de huella hídrica fue del 93 %, reflejando una sustitución casi total del consumo externo de agua.

Además, el modelo permitió calcular un retorno ambiental neto cercano a 790 millones COP/año, resultado de monetizar los beneficios por reducción de vertimientos y compra de agua, descontando el OPEX del sistema. Tal como se muestra en la Tabla IV, el índice de circularidad del activo (ICA = 0,86) evidencia una transformación sustancial del recurso dentro del ciclo productivo.

Tabla IV

Indicador	Valor
Eficiencia de recuperación	95 %
Reducción huella hídrica	-93 %
Retorno ambiental neto	790 millones COP/año
Índice de circularidad (ICA)	0,86

Análisis y discusión

Los resultados del estudio evidencian que la implementación de un sistema de tratamiento terciario para reúso de aguas industriales, gestionado bajo los principios de la ISO 55000 y evaluado mediante análisis del costo del ciclo de vida (LCC), constituye un activo técnicamente robusto, económicamente rentable y ambientalmente estratégico para una planta embotelladora de bebidas. El enfoque adoptado permitió superar la visión convencional centrada exclusivamente en la inversión inicial (CAPEX), integrando explícitamente desempeño, riesgo,

confiabilidad y generación de valor durante todo el ciclo de vida del activo.

Desde el punto de vista técnico, el sistema conformado por filtración avanzada, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección UV alcanzó una disponibilidad operacional del 99,76 %, equivalente a aproximadamente 21,5 horas de indisponibilidad anual. En procesos industriales continuos, esta cifra es determinante, ya que el sistema de agua no es un activo aislado, sino un habilitador transversal de operaciones críticas como lavado de botellas, enjuague, limpieza CIP y servicios auxiliares. Una indisponibilidad prolongada no solo afecta la producción, sino que puede generar reprocesos y riesgos de calidad.

El análisis RAM mostró que la criticidad del sistema no depende únicamente de la frecuencia de fallas, sino del impacto asociado a la pérdida de calidad del agua o tiempos extensos de recuperación. La aplicación de FMECA permitió identificar que componentes como membranas de ósmosis inversa y módulos de ultrafiltración concentran mayor riesgo económico cuando su deterioro no es detectado oportunamente. Esto refuerza la necesidad de una estrategia de mantenimiento predictivo y control operacional basado en variables de desempeño (presión diferencial, conductividad, caudales específicos), en lugar de una lógica reactiva. En términos prácticos, el estudio demuestra que la confiabilidad técnica es una variable financiera, no solo operativa.

En el ámbito económico, el modelo LCC evidenció que, frente a un CAPEX de 2.900 millones COP, el sistema genera ahorros netos anuales cercanos a 785 millones COP, derivados principalmente de la sustitución de agua potable y la reducción de vertimientos. Con un VPN positivo superior a 1.700 millones COP, una TIR del 21,6 % y un periodo de recuperación de 6,3 años, el proyecto supera ampliamente los criterios tradicionales de aceptación financiera. Estos resultados adquieren mayor relevancia al considerar que el horizonte de evaluación fue de



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



15 años, coherente con la vida útil técnica del sistema.

Un hallazgo particularmente relevante es que la inclusión explícita de los costos asociados a la indisponibilidad dentro del LCC modificó sustancialmente la valoración del activo. Al monetizar el impacto potencial de paradas operativas, se evidenció que un descenso marginal en disponibilidad puede erosionar rápidamente la rentabilidad proyectada. Esto confirma que evaluar activos hidráulicos exclusivamente desde OPEX y CAPEX puede conducir a decisiones subóptimas, ya que el costo real del agua en la industria incluye el riesgo operativo asociado a su no disponibilidad.

Desde la perspectiva de sostenibilidad, el sistema logró una eficiencia de recuperación del 95 %, reduciendo el consumo de agua potable en un 93 % y transformando el esquema hídrico de lineal a predominantemente circular. El índice de circularidad del activo (0,86) evidencia que el recurso deja de comportarse como insumo desechable y pasa a integrarse como flujo regenerado dentro del proceso productivo. La monetización del beneficio ambiental, estimada en aproximadamente 790 millones COP anuales, permitió traducir la reducción de huella hídrica en valor económico tangible. Este resultado es clave en contextos donde las decisiones de inversión exigen cuantificación objetiva de beneficios ambientales.

La discusión integral confirma que el valor estratégico del proyecto no radica únicamente en la combinación tecnológica seleccionada, sino en su integración dentro de un marco de gestión de activos basado en valor. La articulación entre confiabilidad (RAM), costo del ciclo de vida (LCC) y economía circular permitió demostrar cómo variables técnicas impactan directamente los resultados financieros y ambientales. Este enfoque reduce la asimetría entre áreas técnicas y financieras dentro de la organización, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia.

Finalmente, el estudio aporta evidencia de que la reutilización de aguas industriales, cuando es gestionada bajo estándares internacionales, puede convertirse en un activo generador de ventaja competitiva. No se trata únicamente de cumplir requisitos ambientales, sino de optimizar costos estructurales, reducir exposición a riesgos regulatorios y fortalecer la resiliencia hídrica corporativa. El modelo desarrollado resulta replicable en otras instalaciones con patrones de consumo similares, siempre que se garantice la consistencia entre datos operativos reales, estrategias de mantenimiento y evaluación financiera rigurosa.

Conclusiones

El estudio demostró que la implementación de un sistema de tratamiento terciario avanzado para el reúso de aguas industriales, integrado a un modelo de gestión de activos conforme a la norma ISO 55000, constituye una alternativa técnica, económica y ambientalmente viable para plantas embotelladoras y, de manera más amplia, para industrias intensivas en el uso del recurso hídrico. La investigación confirma que el agua tratada puede y debe gestionarse como un activo estratégico, dejando de considerarse un subproducto residual para convertirse en una fuente estructural de generación de valor sostenible a lo largo de su ciclo de vida.

Desde la perspectiva técnica, la integración de filtración avanzada, ultrafiltración, ósmosis inversa y desinfección UV permitió alcanzar niveles de confiabilidad y disponibilidad superiores al 99 %, compatibles con esquemas de operación continua. La aplicación del análisis RAM, complementado con FMECA, no solo permitió cuantificar el desempeño esperado del sistema, sino identificar con precisión los modos de falla con mayor criticidad operacional y económica. Este enfoque evidenció que la sostenibilidad técnica del proyecto depende en



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



gran medida de la gestión anticipada de fenómenos progresivos como incrustaciones y ensuciamiento de membranas. La principal conclusión en este ámbito es clara: la confiabilidad no es un atributo inherente al diseño tecnológico, sino el resultado de una estrategia estructurada de mantenimiento basada en riesgo, datos y criticidad.

En el ámbito económico, el modelo de Costo del Ciclo de Vida (LCC) permitió demostrar que la inversión inicial, aunque significativa, se compensa mediante ahorros recurrentes asociados a la reducción del consumo de agua potable y disminución de vertimientos. Los indicadores financieros obtenidos VPN positivo, TIR superior al costo de capital y periodo de recuperación coherente con la vida útil del activo validan la viabilidad del proyecto bajo criterios financieros exigentes. Sin embargo, el aporte más relevante del análisis económico radica en haber incorporado explícitamente los costos de indisponibilidad y mantenimiento dentro del modelo financiero. Esta integración reveló que ignorar el impacto de la confiabilidad conduce a una subvaloración del activo y puede distorsionar decisiones de inversión. En consecuencia, la evaluación integral demostró que desempeño técnico y rentabilidad financiera son variables interdependientes.

Desde la perspectiva ambiental y de economía circular, el sistema logró una reducción sustancial de la huella hídrica y una eficiencia de recuperación cercana al cierre del ciclo productivo. La cuantificación del retorno ambiental neto permitió traducir los beneficios ambientales en términos económicos concretos, fortaleciendo la hipótesis central del estudio: la sostenibilidad puede medirse, monetizarse e incorporarse dentro de modelos de decisión empresarial. Esta conclusión es particularmente relevante en contextos donde la gestión del agua se convierte en un factor crítico de resiliencia ante escenarios de escasez, presión regulatoria y aumento de tarifas.

De manera transversal, el estudio demuestra que la verdadera innovación no reside únicamente en la tecnología instalada, sino en el marco metodológico que integra gestión de activos (ISO 55000), confiabilidad (ISO 14224), costo del ciclo de vida (ISO 15663) y evaluación ambiental (ISO 14046). Esta articulación permitió construir un modelo de decisión coherente, replicable y alineado con estándares internacionales, capaz de equilibrar costo, riesgo y desempeño.

Finalmente, se concluye que el reúso de agua industrial, cuando es gestionado estratégicamente, no debe entenderse como una obligación ambiental, sino como una oportunidad de optimización estructural del negocio. La investigación aporta evidencia de que es posible desacoplar el crecimiento productivo del consumo incremental de agua, fortaleciendo simultáneamente competitividad, sostenibilidad y resiliencia operativa. Este enfoque metodológico ofrece una base sólida para futuras investigaciones y para la implementación de proyectos similares en otros sectores industriales que busquen integrar valor económico y ambiental dentro de un mismo sistema de gestión.

Referencias Técnicas

- [1] Garzón Barreto, C. A., & Sánchez Serrato, J. P. *Propuesta de implementación de gestión de activos bajo la norma ISO 55001 para plantas de tratamiento industrial y biológico (PTB y PTARI) en Planta Colmotores* [En línea]. Disponible en: <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/9a470afb-a4e8-4874-91d0-6125da299e1c/content>
- [2] García, L., & Torres, P. *Gestión integral del recurso hídrico en el sector industrial colombiano*. [En línea]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/server/api/core/bitstreams/3f945abc-65de-4125-bfd1-dbc1f4e05d10/content>



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



- [3] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2014). *NTC-ISO 55000: Gestión de activos – Panorama general, principios y terminología*. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontec.org/normas/norma-ntc-iso-55000/>
- [4] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2016). *NTC-ISO 14224: Recopilación y análisis de datos de confiabilidad y mantenimiento*. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontec.org/normas/norma-ntc-iso-14224/>
- [5] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2014). *NTC-ISO 14046: Gestión ambiental – Huella hídrica: Principios, requisitos y directrices*. [En línea]. Disponible en: <https://www.icontec.org/normas/norma-ntc-iso-14046/>
- [6] ISO. (2003). *ISO 15663: Petroleum and natural gas industries — Life-cycle costing — Part 1: Methodology*. International Organization for Standardization. [En línea]. Disponible en: <https://www.iso.org/standard/28708.html>
- [7] Muñoz, C., & Ramírez, A. *Modelos de gestión de activos aplicados a sistemas hidráulicos industriales*. 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.revistadyo.es/DyO/index.php/dyo/article/view/621>
- [8] Poveda, R., & Cuesta, M. *Análisis de costo de ciclo de vida (LCC) aplicado a proyectos de infraestructura industrial*. 2020 [En línea]. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/7819/1/13617.pdf>
- [9] Vega Rodríguez, J. A. *Gestión de activos físicos industriales: Aplicaciones prácticas en plantas de producción*. 2010. [En línea]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2010/hdl_2072_150985/PFC_JuanAntonioVegaRodriguez.pdf
- [10] Santamaría, A. *Análisis de costo de ciclo de vida (LCC) aplicado a sistemas industriales*. 2020.
- [11] Carmona Aroca, J. *La gestión de las infraestructuras del agua: revisión de indicadores clave de desempeño en el marco de la gestión de activos*. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://zenodo.org/records/16298167>
- [12] Ellen MacArthur Foundation. *Completing the picture: How the circular economy tackles climate change*. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://sure.sunderland.ac.uk/id/eprint/18456/>
- [13] Centro de Innovación y Tecnología del Agua. *Estrategias de recirculación y reutilización de aguas residuales en la industria de bebidas*. 2023 [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/39a4cfb9-5ea7-443e-8fc3-3368f2e686fb/content>



XXVIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO Y GESTIÓN DE ACTIVOS

22 AL 24 DE ABRIL DE 2026. Bogotá - Colombia



SANTIAGO CANO GONZÁLEZ
E.mail: s.cano1059@pascualbravo.edu.co
Celular: 3218494827
Dirección: Calle 73 # 73a-226
Medellín – Colombia
