

Automatización de procesos físico-químicos y biológicos para optimizar el tratamiento y vertido de aguas residuales en Cartón De La Costa S.A.

Nombres y apellidos:

Carlos Mauricio Alandete Castro

Código estudiantil:

2025114970320

Katerin Paola Martínez Navarro

Código estudiantil:

2025114974601

Trabajo de Investigación presentado como requisito para optar el título de:

Especialista en Gerencia de Proyectos.

Tutor(es):

Olga Marina Martínez Palmera

RESUMEN

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo proponer la automatización de los procesos físico-químicos y biológicos del sistema de tratamiento de aguas residuales industriales de la empresa Cartón de la Costa S.A., ubicada en la ciudad de Barranquilla, con el fin de optimizar el tratamiento y vertimiento de dichas aguas conforme a la normativa ambiental vigente. Esta necesidad surge debido a que, en la actualidad, el sistema opera principalmente de manera manual, lo que genera variabilidad en los resultados, dificultades en el control de variables críticas del proceso y un alto riesgo de incumplimiento de los límites permisibles establecidos por la autoridad ambiental.

En el contexto global, la gestión de aguas residuales constituye uno de los principales desafíos ambientales, debido al incremento de la actividad industrial, el crecimiento poblacional y la presión sobre los recursos hídricos. En particular, la industria del papel y cartón se caracteriza por un elevado consumo de agua y la generación de efluentes con alta carga contaminante, que incluyen sólidos suspendidos, materia orgánica, compuestos químicos y derivados del proceso productivo. En el ámbito nacional, el cumplimiento de la normativa ambiental, especialmente lo establecido en la Resolución 0631 de 2015, exige que las empresas implementen sistemas de tratamiento eficientes que garanticen la calidad del vertimiento, lo cual representa un reto significativo para aquellas organizaciones que aún operan con bajos niveles de automatización.

En el caso específico de Cartón de la Costa S.A., se identifican diversas limitaciones asociadas a la operación manual del sistema de tratamiento, tales como la imprecisión en la medición de variables críticas como pH, turbidez y carga orgánica, la dificultad en la dosificación adecuada de reactivos químicos y la ausencia de monitoreo continuo en tiempo real. Estas condiciones incrementan la probabilidad de variaciones en la calidad del efluente

tratado, elevan los costos operativos y dificultan la toma de decisiones oportunas. Además, generan riesgos de sanciones regulatorias y posibles impactos negativos sobre los ecosistemas acuáticos, lo que evidencia la necesidad de incorporar soluciones tecnológicas que permitan mejorar el control y la eficiencia del proceso.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque aplicado, con orientación ingenieril y naturaleza predictiva, mediante un diseño metodológico de tipo cuasi-experimental. El estudio se estructura en diversas fases que incluyen la planificación, el diagnóstico del sistema actual, la evaluación de tecnologías de automatización, el diseño de la propuesta y la validación técnica. En la fase de diagnóstico se analizaron las condiciones operativas del sistema de tratamiento y se identificaron debilidades asociadas al manejo manual del proceso. Posteriormente, en la fase de diseño, se propuso la integración de tecnologías de automatización orientadas a mejorar el monitoreo continuo y el control del sistema.

Desde el punto de vista teórico, el estudio se fundamenta en los principios del tratamiento de aguas residuales, que integran procesos físico-químicos como la coagulación, floculación y sedimentación, así como procesos biológicos basados en la acción de microorganismos que degradan la materia orgánica. Asimismo, se apoya en la teoría de la automatización industrial y el control de procesos, que plantean la utilización de sensores, sistemas de supervisión y controladores programables para mejorar la precisión, estabilidad y eficiencia de los sistemas productivos. Estas bases conceptuales permiten identificar las variables críticas del proceso y establecer mecanismos para su control en tiempo real.

La propuesta de automatización contempla la incorporación de sensores en línea para el monitoreo continuo de variables como pH, oxígeno disuelto, turbidez y carga orgánica, así como la implementación de controladores lógicos programables (PLC) y sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Esta integración tecnológica permite optimizar la dosificación de reactivos, reducir la variabilidad del sistema, mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes y facilitar la toma de decisiones basada en datos confiables y en tiempo real.

En el ámbito de la sostenibilidad, el proyecto se alinea con los principios de gestión ambiental y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente aquellos relacionados con el acceso al agua limpia y el saneamiento, la innovación industrial y la producción responsable. La automatización del sistema de tratamiento contribuye a la reducción de impactos ambientales, al uso eficiente de los recursos y al fortalecimiento de la gestión ambiental empresarial, promoviendo prácticas industriales más sostenibles.

Como resultados esperados, se proyecta una mejora significativa en la eficiencia operativa del sistema de tratamiento, una mayor estabilidad en los procesos físico-químicos y biológicos, y una reducción de los riesgos ambientales y operativos asociados al vertimiento de aguas residuales. Asimismo, se espera una disminución en los costos operativos relacionados con el uso de reactivos y energía, así como una mejora en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente. De igual manera, la propuesta presenta un carácter replicable, lo que permite su aplicación en otras empresas del sector industrial con características similares.

En conclusión, la automatización de los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales se presenta como una alternativa técnica viable y estratégica para mejorar el desempeño ambiental de las organizaciones, optimizar sus procesos operativos y fortalecer su competitividad. El presente estudio no solo aporta una solución aplicable al caso específico de Cartón de la Costa S.A., sino que también contribuye al desarrollo sostenible del sector industrial y a la protección de los recursos hídricos, consolidando la importancia de la innovación tecnológica en la gestión ambiental contemporánea.

Palabras claves: aguas residuales industriales, tratamiento fisicoquímico y biológico, automatización de procesos, SCADA, gerencia de proyectos.

ABSTRACT

The present research project aims to propose the automation of the physico-chemical and biological processes of the industrial wastewater treatment system of Cartón de la Costa S.A., located in the city of Barranquilla, Colombia, in order to optimize the treatment and discharge of wastewater in compliance with current environmental regulations. This need arises from the fact that the system currently operates mainly in a manual manner, resulting in variability in outcomes, difficulties in controlling critical process variables, and a high risk of non-compliance with the permissible limits established by environmental authorities.

In a global context, wastewater management represents one of the main environmental challenges due to the increase in industrial activity, population growth, and pressure on water resources. In particular, the paper and cardboard industry is characterized by high water consumption and the generation of effluents with a significant pollutant load, including suspended solids, organic matter, chemical compounds, and by-products of the production process. At the national level, compliance with environmental regulations—especially those established in Resolution 0631 of 2015—requires companies to implement efficient treatment systems that ensure the quality of discharged effluents, which poses a challenge for organizations operating with low levels of automation.

In the specific case of Cartón de la Costa S.A., several limitations associated with manual operation were identified, such as imprecise measurement of critical variables including pH, turbidity, and organic load, difficulties in the proper dosing of chemical reagents, and the absence of continuous real-time monitoring. These conditions increase the likelihood of variations in effluent quality, raise operational costs, and hinder timely decision-making, while also posing risks of regulatory penalties and negative environmental impacts.

The research follows an applied engineering approach with a predictive nature and a quasi-experimental design. It is structured into several phases, including planning, system diagnosis, evaluation of automation technologies, proposal design, and technical validation. During the diagnostic phase, the operational conditions of the treatment system were analyzed, and weaknesses related to manual management were identified. Subsequently, in the design phase, the integration of automation technologies was proposed to improve continuous monitoring and process control.

From a theoretical perspective, the study is based on wastewater treatment principles, including physico-chemical processes such as coagulation, flocculation, and sedimentation, as well as biological processes driven by microorganisms that degrade organic matter. It also relies on industrial automation and process control theories, which support the use of sensors, monitoring systems, and programmable controllers to enhance process accuracy, stability, and efficiency.

The proposed automation system includes the implementation of online sensors for continuous monitoring of variables such as pH, dissolved oxygen, turbidity, and organic load, along with programmable logic controllers (PLC) and Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) systems. This technological integration enables optimized reagent dosing, reduced system variability, improved contaminant removal efficiency, and enhanced data-driven decision-making in real time.

From a sustainability perspective, the project aligns with environmental management principles and the Sustainable Development Goals, particularly those related to clean water and sanitation, industrial innovation, and responsible production. The automation of the treatment system contributes to reducing environmental impacts, promoting efficient resource use, and strengthening corporate environmental management.

Expected results include a significant improvement in the operational efficiency of the treatment system, greater stability in physico-chemical and biological processes, and a reduction in environmental and operational risks associated with wastewater discharge. Additionally, a decrease in operational costs related to chemical and energy consumption is anticipated, along with improved compliance with environmental regulations. The proposed solution also has replicability potential, allowing its application in other companies within the industrial sector.

In conclusion, the automation of industrial wastewater treatment systems represents a viable and strategic technical alternative to improve environmental performance, optimize operational processes, and enhance competitiveness. This study not only provides a practical solution for Cartón de la Costa S.A. but also contributes to sustainable industrial development and the protection of water resources, highlighting the importance of technological innovation in contemporary environmental management.

Keywords: industrial wastewater, physicochemical and biological treatment, process automation, SCADA systems, project management.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bajpai (2015). Management of pulp and paper mill waste. Springer.
2. Bajpai (2018). Pulp and paper industry: Energy conservation. Elsevier.
3. Cámara de Comercio de Bogotá (2020). Industria 4.0 y sostenibilidad ambiental en el sector manufacturero colombiano.
4. Comisión Europea (2015). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Pulp, Paper and Board.
5. Cordero Veliz (2024). Evaluación diagnóstica y estrategias de optimización para mejorar la PTAR independiente.
6. Escobar Gordillo (2022). Elaboración del diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR).
7. Gómez et al. (2020). Evaluación del desempeño de plantas de tratamiento industrial en la región Caribe colombiana. Ingeniería y Competitividad, 22(2), 1–12. <https://doi.org/10.25100/iyc.v22i2.8673>
8. IDEAM (2018). Informe nacional del estado de los vertimientos industriales en Colombia.
9. López Carrillo (2024). Automatización, sistema SCADA y control de seguridad de una planta de tratamiento de aguas residuales.
10. Metcalf & Eddy et al. (2014). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.
11. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2015). Resolución 0631 de 2015.

12. Aguado et al. (2012). A methodology for the design of optimal monitoring networks in wastewater treatment plants. *Water Research*, 46(9), 2747–2760. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.02.030>
13. Andreottola et al. (2002). Experimental comparison between membrane bioreactor and conventional activated sludge system for the treatment of industrial wastewater. *Water Science and Technology*, 46(9), 205–212.
14. Ayesa et al. (2006). Supervisory control strategies for the new WWTP of Galindo-Bilbao. *Water Science and Technology*, 53(4–5), 251–260.
15. Bixio et al. (2006). Wastewater reuse in Europe. *Desalination*, 187(1–3), 89–101.
16. Carvalho y Ferreira (2011). Adaptive control strategies for wastewater treatment processes. *Control Engineering Practice*, 19(9), 1107–1115. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2011.05.005>
17. Crites y Tchobanoglous (2018). *Small and decentralized wastewater management systems*. McGraw-Hill Education.
18. Drews (2010). Membrane fouling in membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science*, 363(1–2), 1–28.
19. Ferrer et al. (2008). DESASS: A software tool for design and simulation of wastewater treatment plants. *Environmental Modelling & Software*, 23(1), 19–26.

20. Groover (2015). Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing. Pearson.
21. Olsson et al. (2014). Instrumentation, control and automation in wastewater systems. IWA Publishing.
22. Olsson et al. (2018). Sensors, automation and control for water resource recovery facilities. *Water Science and Technology*, 78(3), 485–509. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.278>
23. Wang y Yang (2016). Application of SCADA systems in industrial wastewater treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*, 12, 45–52. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2016.06.004>
24. Pokhrel y Viraraghavan (2004). Treatment of pulp and paper mill wastewater. *Science of the Total Environment*, 333(1–3), 37–58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.05.017>
25. Tchobanoglous et al. (2017). Wastewater engineering: Treatment and resource recovery. McGraw-Hill Education.
26. Wiesmann et al. (2007). Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design. Wiley.
27. Thomas y Pouet (2005). Wastewater quality monitoring: Trends and analytical chemistry. *Analytical Chemistry*, 77(1), 58–68. <https://doi.org/10.1021/ac050031n>
28. Zhao et al. (2018). Online monitoring and control of nutrients in pulp and paper mill wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 256, 355–372. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.02.051>

29. Hernández-Sampieri y Mendoza (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.
30. Creswell (2014). Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches (4th ed.). SAGE Publications.
31. Kerlinger y Lee (2002). Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales (4ª ed.). McGraw-Hill.
32. Vanrolleghem y Gillot (2002). Robustness and economic measures as control benchmark performance criteria. *Water Science and Technology*, 45(4–5), 117–126.
33. Gernaey et al. (2004). Activated sludge wastewater treatment plant modelling and simulation: State of the art. *Environmental Modelling & Software*, 19(9), 763–783. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.03.005>
34. Corominas et al. (2018). Comparison of different modeling approaches to better evaluate greenhouse gas emissions from wastewater treatment plants. *Biotechnology Advances*, 36(1), 164–179. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.07.012>
35. Singh et al. (2019). Advanced control strategies for wastewater treatment processes: A review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(3), 103–123. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103123>
36. Jones et al. (2021). Real-time monitoring and control of wastewater treatment systems using smart sensors. *Water Research*, 188, 116–125. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116125>
37. Ámand et al. (2013). Aeration control—A review. *Water Science and Technology*, 67(11), 2374–2398. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.139>

38. Alex et al. (2008). Benchmark Simulation Model No. 1 (BSM1). *Water Science and Technology*, 58(4), 859–865. <https://doi.org/10.2166/wst.2008.399>
39. Benedetti et al. (2006). Assessment of WWTP design and upgrade options: Balancing costs and risks. *Water Science and Technology*, 54(6–7), 371–378.
40. Ekama y Wentzel (2008). Nitrogen removal in activated sludge processes. *Water Research*, 42(12), 2879–2892. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2008.03.013>
41. Flores-Alsina et al. (2011). Including greenhouse gas emissions during benchmarking of wastewater treatment plant control strategies. *Water Research*, 45(16), 4700–4710. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.05.040>
42. Olsson (2012). ICA and me—A subjective review. *Water Research*, 46(6), 1585–1624. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.12.054>
43. Rieger et al. (2012). Modelling of wastewater treatment plants using activated sludge models. *Water Science and Technology*, 65(3), 417–423.
44. Shamas y Wang (2013). *Handbook of advanced industrial and hazardous wastes treatment*. CRC Press.
45. Spellman (2014). *Handbook of water and wastewater treatment plant operations* (3rd ed.). CRC Press.
46. Takács et al. (1991). A dynamic model of the clarification-thickening process. *Water Research*, 25(10), 1263–1271. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(91\)90066-Y](https://doi.org/10.1016/0043-1354(91)90066-Y)