

Fecha de recepción: 06 de junio de 2025, fecha de publicación en línea: octubre de 2025.

Construcción del Gemelo Virtual de una Línea de Pintura Electroforética Integrando PLC

Lázaro Merlo-Ramírez¹, José Rafael Mendoza-Vázquez², Irma Delia Rojas-Cuevas³, Sergio Javier Torres-Méndez⁴, Vicente Ramírez-Palacios⁵

^{1,2,3,4,5} Tecnológico Nacional de México – Instituto Tecnológico de Puebla. Av. Tecnológico 420 Col Maravillas C.P. 72220, Puebla, México.

Autor de correspondencia: José Rafael Mendoza-Vázquez (correo electrónico: rafael.mendoza@puebla.tecnm.mx).

Abstract- This study focuses on the development of a virtual model and digital twin of an electrophoretic painting line, using software tools such as AutoCAD, Blender, TIA Portal, and Machines Simulator. Virtual modeling enables the creation of 3D digital representations of physical processes, helping industries optimize operations, reduce costs, and automate workflows. This approach aligns with Industry 4.0 by integrating digital twins and programmable logic controllers (PLCs) to simulate and control production lines without requiring a physical setup.

The research outlines the design, simulation, and automation of a metal painting line, where virtual components are modeled in AutoCAD, converted and prepared in Blender, and integrated into Machines Simulator. The line replicates the real-life electrophoretic painting process, which includes pre-treatment, electrodeposition, rinsing, curing, and final inspection.

The system was tested using both virtual and physical Siemens PLCs, ensuring proper interaction between control signals and simulated machine behavior. The project demonstrates the feasibility of creating customizable virtual production environments, overcoming limitations of commercial simulation software. It also highlights the role of virtual environments in operator training and process validation. The result is a robust, adaptable digital twin capable of supporting automation and process improvement initiatives.

Keywords: digital twins, modeling, production systems, simulation, system analysis and design, virtual manufacturing.

I. INTRODUCCIÓN

El modelado virtual se define como la integración de técnicas computacionales para representar sistemas o entornos en un espacio tridimensional con herramientas digitales. En la industria, estas técnicas facilitan la optimización de operaciones, la reducción de costos y la simulación de procesos para su análisis, mejora y automatización, también buscan que los procesos sean económicos, sostenibles y eficientes [1] [2], para lograr este aspecto, se emplean los gemelos digitales o virtuales [3][4]. Uno de los fines del modelado virtual, es el diseño de procesos automatizados mediante controladores lógicos programables (PLC), que interactúan con el entorno virtual y permiten desarrollar programas adecuados a las necesidades de la línea de producción o para capacitación del personal.

Existen diversos simuladores de líneas de producción, como Plant Simulation, FlexSim, Simio, Simpy y Emulate 3D [5][6][7], que permiten virtualizar las operaciones y desarrollar simulaciones, estos se encuentran limitados en muchas ocasiones por las librerías disponibles.

En el trabajo, se presenta la construcción de un gemelo virtual de una línea de pintura electroforética empleando softwares como son: AutoCAD, Machines Simulator, Blender y TIA Portal. Este gemelo virtual debe ser capaz de comunicarse con un PLC Siemens S7-1200, con el fin de desarrollar su automatización y la programación de sus acciones de movimiento en trabajos futuros.

En el documento, se presentan los temas de modelado virtual, el gemelo virtual, líneas de producción virtuales, el proceso de pintura electroforética, la construcción del gemelo virtual, la integración de sus componentes y la creación de los controladores, así como pruebas básicas en la comunicación con el PLC virtual y el digital, además de incluir recomendaciones, conclusiones y referencias.

II. MODELADO VIRTUAL

El modelado virtual se aplica en múltiples áreas como ingeniería, arquitectura, diseño industrial, medicina, educación y procesos productivos. Integra características físicas, funcionales y estéticas de un objeto o sistema antes de su construcción o implementación real [8][9][10]