

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), enero-febrero 2025,
Volumen 9, Número 1.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v9i1

ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE BAJO COSTO PARA EL PROCESO DE METALURGIA DE POLVOS VIRTUALIZADO EN UNITY 3D

**LOW-COST PRODUCTION AND QUALITY ANALYSIS FOR
VIRTUALIZED POWDER METALLURGY PROCESS IN UNITY 3D**

Hernan Vinicio Morales Villegas

Universidad de la Fuerzas Armadas ESPELatacunga

Edgar Fabian Ilaquiche Vega

Universidad de la Fuerzas Armadas ESPELatacunga

Klever Daniel Yumiceba Yungan

Universidad de la Fuerzas Armadas ESPELatacunga

Henry Gabriel Haro Diaz

Universidad de la Fuerzas Armadas ESPELatacunga

Ronald Saul Avila Quinde

Universidad de la Fuerzas Armadas ESPELatacunga

Análisis de producción y calidad de bajo costo para el proceso de metalurgia de polvos virtualizado en Unity 3D

Hernan Vinicio Morales Villegas¹

hvmorales@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0001-8211-1238>

Universidad de la Fuerzas Armadas
ESPELatacunga
Latacunga Ecuador

Edgar Fabian Ilaquiche Vega

efilaquiche@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0003-4084-3897>

Universidad de la Fuerzas Armadas
ESPELatacunga
Latacunga Ecuador

Klever Daniel Yumiceba Yungan

kdyumiceba@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-6760-5147>

Universidad de la Fuerzas Armadas
ESPELatacunga
Latacunga Ecuador

Henry Gabriel Haro Diaz

hgharol@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-5393-1717>

Universidad de la Fuerzas Armadas
ESPELatacunga
Latacunga – Ecuador

Ronald Saul Avila Quinde

rsavila@espe.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0008-6070-7039>

Universidad de la Fuerzas Armadas
ESPELatacunga
Latacunga – Ecuador

RESUMEN

El presente artículo, analiza la producción y calidad a bajo costo para el control del proceso virtualizado de una planta de metalurgia de polvos (pulvimetalurgia) para lo cual se consideró el software Unity 3D, el diseño del entorno virtual consta de 5 etapas para la fabricación y terminado de la pieza, el entorno virtual es desarrollado en Unity 3D enlazado con TIA Portal V17 (Totally Integrated Automation Portal), donde se realiza la programación para realizar el control a través de PLC S7 1200 (Controlador Lógico Programable), los dos softwares se comunican a través de Ethernet TCP/IP. El proceso consiste en cinco etapas: ingreso de material, compactación, sinterizado, calibrado, impregnación de aceites y tratamiento térmico, todo este procedimiento siendo virtualizado en Unity 3D para material educativo e industrial, la virtualización en tiempo real se realiza mediante los servidores S7, ya que estos servidores permiten la comunicación de datos históricos de manera real y eficiente para el proceso. Mediante la colaboración entre Unity y Tia Portal se logró virtualizar la planta de metalurgia de polvos, brindando así la posibilidad de experimentar con diferentes escenarios y configuraciones en un entorno virtual antes de la implementación física, esto conlleva a la disminución de los riesgos y los costos asociados con ajustes y cambios en la producción, por ende, esto conduce a un proceso de desarrollo más controlado y rentable.

Palabras clave: metalurgia de polvos, virtualización, automatización, plc, ethernet

¹ Autor principal

Correspondencia: hvmorales@espe.edu.ec

Low cost production and quality analysis for virtualized powder metallurgy process in Unity 3D

ABSTRACT

This article analyzes the production and quality at low cost for the control of the virtualized process of a powder metallurgy plant (powder metallurgy) for which the Unity 3D software was considered. The virtual environment design consists of 5 stages for the manufacture and finishing of the piece. The virtual environment is developed in Unity 3D linked to TIA Portal V17 (Totally Integrated Automation Portal), where the programming is done to perform the control through PLC S7 1200 (Programmable Logic Controller). The two softwares communicate through Ethernet TCP / IP. The process consists of five stages: material entry, compaction, sintering, calibration, oil impregnation and heat treatment. This entire procedure is virtualized in Unity 3D for educational and industrial material. Realtime virtualization is done through S7 servers, since these servers allow the communication of historical data in a real and efficient way for the process. Through the collaboration between Unity and Tia Portal, the powder metallurgy plant was virtualized, thus providing the possibility of experimenting with different scenarios and configurations in a virtual environment before physical implementation. This leads to a reduction in risks and costs associated with adjustments and changes in production, therefore, this leads to a more controlled and profitable development process.

Keywords: powder metallurgy, virtualization, automation, plc, ethernet

Artículo recibido 05 enero 2025

Aceptado para publicación: 10 febrero 2025



INTRODUCCIÓN

La automatización industrial es considerada como el manejo de la información en la industria para la toma de decisiones en tiempo real [1], esta es uno de los mejores métodos para aumentar la cantidad de producción de una empresa con la finalidad de aumentar la calidad de producción y mejorar la competitividad en un entorno cambiante y de constante desarrollo tecnológico, la automatización industrial es un método eficaz para incrementar la producción y calidad de una empresa, mejorando su competitividad en un entorno en constante desarrollo tecnológico [2], con los avances tecnológicos muchos países se ven en la necesidad de incorporar nuevas estrategias de producción con el objetivo de aumentar la productividad y mejorar la calidad de los productos, herramientas innovadoras y el desarrollo de software como, Unity, Tia Portal, se están incorporando en los diferentes niveles de los procesos automatizados haciéndolos más eficientes y seguros ya que estos ofrecen beneficios significativos en términos de simulación, diseño, control y optimización de procesos [3], todo esto se logra gracias a las comunicaciones industriales ya que permiten el flujo de información del controlador a los diferentes dispositivos a lo largo del proceso de producción: detectores, actuadores, sensores, entre otros, existen gran variedad de sistemas de comunicación entre equipos industriales, con protocolos específicos, como es el caso de Ethernet quien ha tenido un profundo impacto en la industria debido a sus capacidades para control de planta y datos de oficina, aportando a los fabricantes una gran cantidad de ventajas que incluyen una integración más fácil entre los sistemas de planta y de administración [4], considerando diferentes conceptos de investigación, este paper se centra en la virtualización del proceso industrial de metalurgia de polvos utilizando Unity 3D, considerando que el software Unity 3D virtualiza plantas con realismo, modelando el comportamiento físico de las variables y permitiendo la conexión con otros softwares y dispositivos físicos [5], la virtualización con Unity en la industria de metalurgia de polvos (pulvimetalurgia) implica la virtualización de varios procedimientos, que se inicia al elegir materiales en su estado inicial y finaliza al obtener el producto terminado [6], lo que posibilita entrenar a nuevos empleados o para educar a estudiantes en los conceptos de la metalurgia de polvos [7], ya que esta virtualización permite simular la presencia física del usuario en dicho entorno, permitiéndole interactuar con él a través de unas gafas o casco de Realidad Virtual [8], los trabajos asociados con la virtualización de diversas plantas industriales demuestran claramente que esta tecnología juega un papel fundamental en



la optimización de la eficiencia, seguridad y rentabilidad de las operaciones en el ámbito industrial [9], por consiguiente, es de vital importancia fomentar el interés de las personas en sumergirse en el mundo de la virtualización [10].

La distribución de este artículo considera seis secciones u objetivos a cumplirse:

Sección 1, Introducir la revisión bibliográfica del uso de la técnica HIL (Hardware in The Loop) en procesos industriales automatizados.

Sección 2, Generar una propuesta de trabajo que detalla el software, hardware y comunicación del proceso a virtualizar.

Sección 3, Desarrollar en software, a detalle cada una de las etapas del proceso, así como la virtualización y diseño de la HMI (Interfaz HombreMáquina).

Sección 4, Realizar la comunicación, detallando el tipo de comunicación, así como el protocolo industrial a utilizar para el envío y recepción de datos entre el software y el hardware.

Sección 5, Revisión de resultados a través de las pruebas funcionales de la implementación de la planta virtualizada, así como la prueba de usabilidad del proceso.

Sección 6, Realizaremos las conclusiones donde se detalla el planteamiento del trabajo a nivel docente e ingeniería.

Para asegurar una implementación eficiente y predecible, se ha desarrollado un cronograma que define los plazos estimados para la replicación o adquisición de este espacio virtualizado. Este cronograma proporciona a las empresas interesadas una clara comprensión del tiempo requerido para la implementación y la metodología utilizada para llevar a cabo el proyecto.

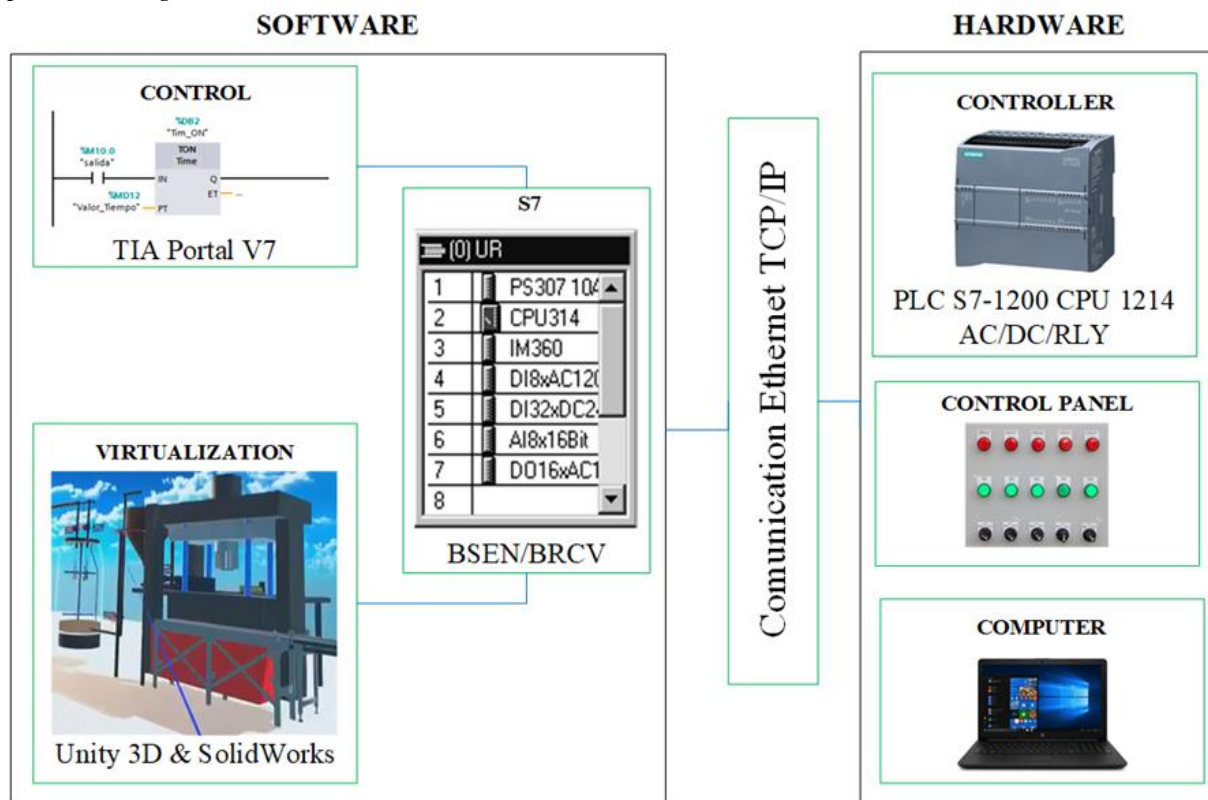
Tarea	Duración Estimada	Fechas (días laborales)	Descripción
1. Real Environment Setup	3 días	Día 1 - Día 3	Configuración del entorno físico (PLC, HMI, conexiones, pruebas de hardware).
2. Technical Process Drawing	3 días	Día 4 - Día 6	Creación del diagrama de procesos técnicos, simbología y layout de control.
3. 3D Design	4 días	Día 7 - Día 10	Modelado 3D de la planta o sistema en Unity u otra herramienta 3D.
4. Virtualization and Animation	4 días	Día 11 - Día 14	Desarrollo de simulaciones y animaciones 3D en Unity o similar.
5. Industrial Communication	3 días	Día 15 - Día 17	Configuración de red, pruebas de comunicación (Profinet/Modbus).
6. Controller (PLC - S7)	4 días	Día 18 - Día 21	Programación del PLC en TIA Portal, implementación lógica de control.
7. HMI Configuration	2 días	Día 22 - Día 23	Diseño y programación de interfaces HMI en TIA Portal.

METODOLOGÍA

En este apartado se describe la propuesta de un proceso de la pulvimetalurgia o sinterización basada en la técnica HIL, el mismo que es dividido en dos partes. La primera parte enfoca en la simulación o software y la segunda en hardware.

Las partes que compone el trabajo propuesto se muestra en la figura 1, esta técnica HIL, consta de la parte de software, lo cual se compone de (i) Control: realiza el control secuencial del proceso de fabricación del engrane programado en el software TIA portal (Totally Integrated Automation Portal); (ii) Virtualización: permite crear un entorno virtual del proceso, donde el usuario podrá visualizar el proceso en tiempo real, manipular, interactuar mediante la realidad aumentada, (iii) S7: permite la comunicación y transferencia de datos del proceso de metalurgia de polvos.

Figura 1. Diseño propuesto de la arquitectura software y hardware de control del proceso de la pulvimetalurgia.



En cuanto la parte de hardware está compuesta por las variables de entradas y salidas para la manipulación y visualización del proceso. Costa de (a) Controlador S71200: CPU 1214 AC/DC/RLY, encargado de controlar el proceso de pulvimetalurgia; (b) Panel de control; el tablero físico que permite ingresar señales digitales y la visualización del proceso; (c) Computadora: Dispositivo que contiene el software para la visualización del proceso virtual y la comunicación con el sistema de control del proceso.

La comunicación entre software y hardware se realiza mediante el protocolo de comunicación Ethernet estándar debido que es ampliamente utilizado en la automatización industrial por su capacidad de transmisión de datos a velocidad desde los 10 Mbps hasta 100 Mbps con gran flexibilidad y rapidez para realizar cambios en los procesos [10].

Para la configuración óptima del hardware, se requiere la adquisición de los siguientes componentes, cuyas estimaciones de costo se encuentran reflejadas en la tabla de presupuesto previamente analizada. La adquisición de estos elementos permitirá replicar las especificaciones actuales del sistema y facilitará futuras actualizaciones y mejoras.

Tabla 1. Presupuesto estimado de los elementos a usarse en la virtualización.

Elemento	Descripción	Precio Aproximado (€)
PLC Siemens S7-1200	Modelo básico, como CPU 1212C AC/DC/RLY	400
Panel de Control	Panel HMI básico (Simatic HMI KTP400 Basic)	200
Laptop	Supuesto como proporcionado sin costo.	0
Router	Supuesto como proporcionado sin costo.	0
TIA Portal V17	Software de programación PLC (versión	0
Unity 3D	Versión personal gratuita para proyectos	0
Cables y accesorios	Cables de programación, conectores, etc.	50
Fuente de alimentación	Fuente para el PLC (24V DC, 5A)	50
Caja de control	Caja económica para alojar el PLC y el panel	50
TOTAL		750

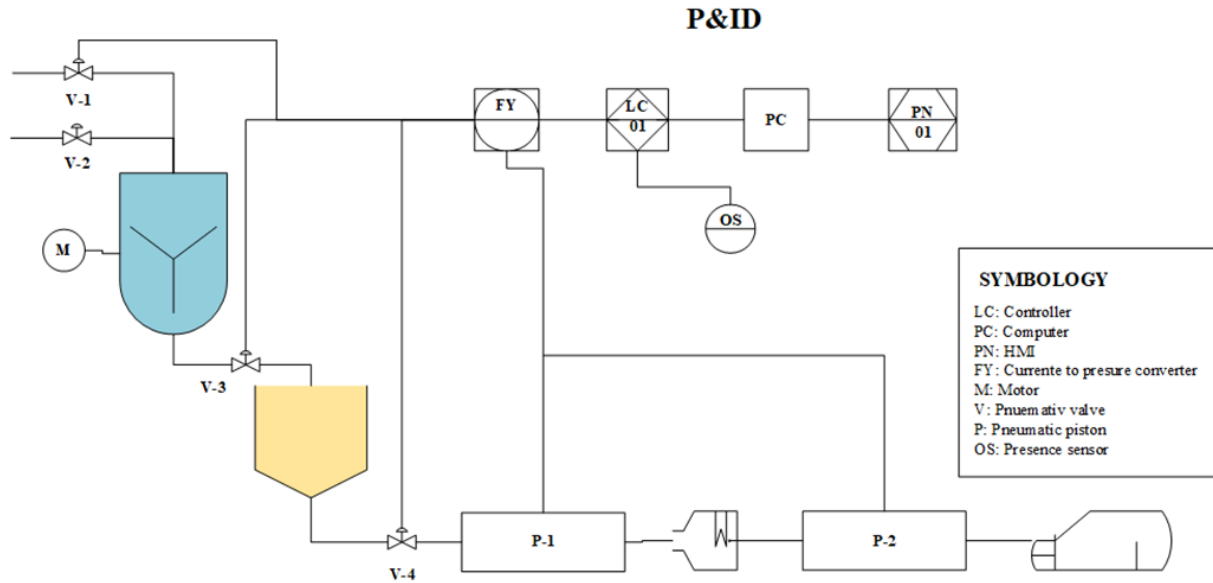
Desarrollo de software

En esta sección se detalla el desarrollo de control, manipulación y visualización de la planta virtual de pulvimetalurgia basado en la técnica HIL.

Automatización del proceso

El diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) de la figura 2, permite desarrollar el proceso de automatización, permitiendo identificar los equipos e instrumentos instalados, así mismo la distribución dentro de la planta. El diagrama diseñado se basa en los símbolos establecidos y estandarizados por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA S5.1).

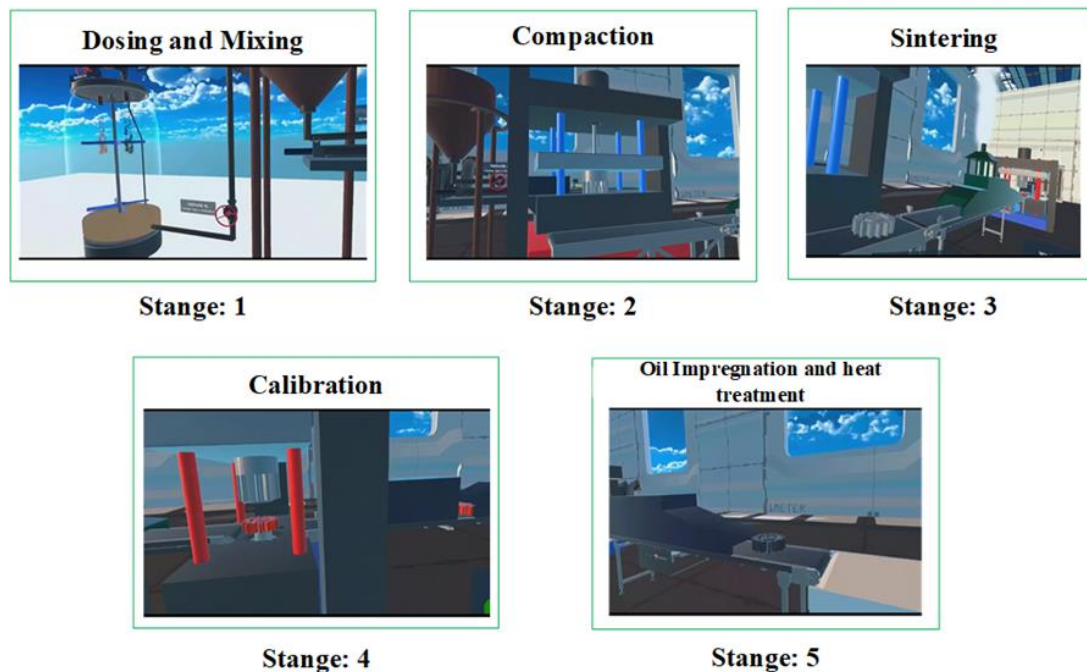
Figura 2. Diagrama P&ID de la planta pulvimetalurgia.



Mediante el diagrama el P&ID, podemos conocer la dinámica del proceso y los elementos que constituyen planta pulvimetalurgia virtualizada, el sistema de control es secuencial con elementos de control finales como, válvulas, motor, pistón neumático, bandas transportadoras. Las etapas del proceso se muestran en la figura 3, programado en el TIA Portal, configurado utilizando PLC S71200 CPU 1214 AC/DC/RL.

Figura 3. Etapas del proceso pulvimetalurgia.

**Virtualization Powder Metallurgy Process in
Unity 3D**



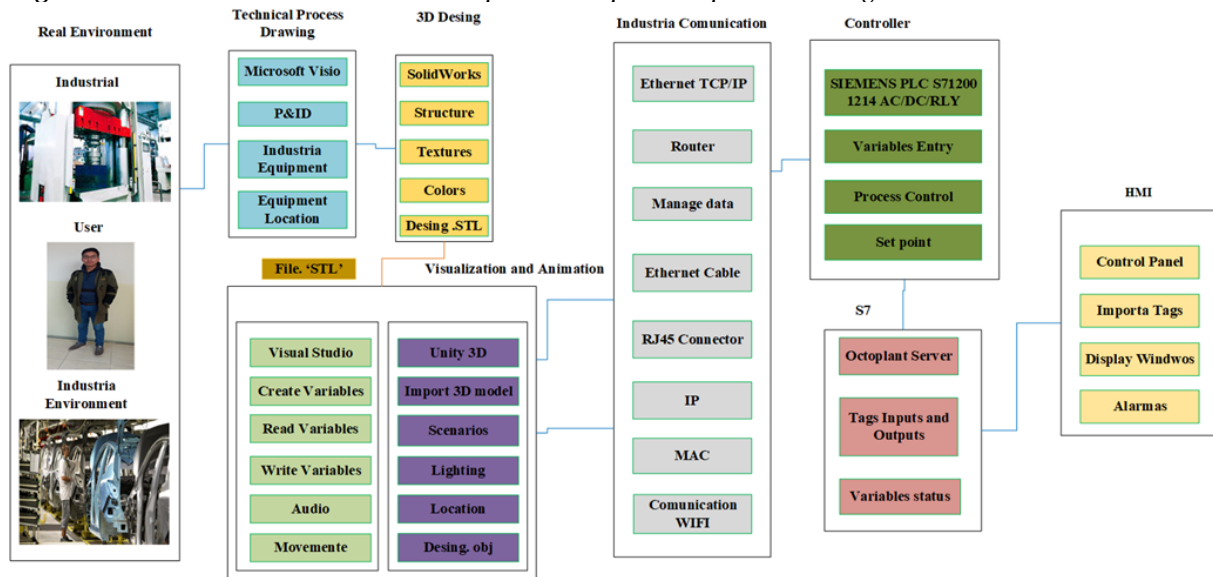
El proceso se divide en 5 etapas: (i) Dosificación y mezclado: cuando presiona el botón de arranque, las válvulas V1y V2 normalmente cerradas, se activan mediante un flanco positivo, al mismo tiempo el motor M inicia con el mezclado del polvo metálico durante diez segundos, luego se activa la válvula V3, llena el depósito, el sensor S1 mandar una señal al controlador para activar la válvula V4, con la activación de la válvula inicia la descarga del material en la matriz; (ii) Compactación: los polvos mezclados se colocan en una matriz, se someten a una presión suficiente con la activación del pistón P1. La acción del pistón comprime los polvos y darles una forma inicial, similar a la pieza final que se desea fabricar; (iii) Sinterizado: El pistón P3 empuja el engrane formado a la banda transportadora, donde es trasladado al proceso de la sinterización. El proceso implica calentar los polvos a una temperatura inferior a su punto de fusión, pero lo suficientemente alta como para que los granos de polvo se unan entre sí; (iv) Calibración: la pieza metálica obtenida tiene una forma aproximada de la pieza final, para dar forma al engrane pasa al proceso de maquinado mediante la acción del pistón P2, rectificado u otras técnicas de conformado para obtener la forma y dimensiones exactas requeridas; (v) Impregnación de aceite y Tratamiento térmico: La impregnación de aceite es un paso opcional que se realiza para mejorar las propiedades de fricción y lubricación de la pieza metálica. En este proceso, la pieza se sumerge en un baño de aceite o lubricante, y debido a la porosidad inherente de la pieza sinterizada. Finalmente, algunas piezas pueden someterse a un tratamiento térmico, como el temple y el revenido, que ayudan a mejorar las propiedades mecánicas, como la dureza y la resistencia, y reducir tensiones internas del producto final [11].

Virtualización

Con el diseño del diagrama P&ID de la sección 3.1, se realiza el entorno de virtualización del proceso pulvimetalurgia. Para el diseño de los modelos 3D de la planta, se utiliza el software SolidWorks, posterior generar un archivo en formato. STL, para luego integrar y renderizar en el software Unity 3D. En el espacio de nuevo proyecto creado del Unity 3D se agrega cada uno de los objetos necesarios para modelar la planta. Para virtualizar y asemejar los objetos a la vida real, se crea un ‘prefaps’ que contiene los objetos de animación con formato .obj, para luego programar en scripts de Microsoft Visual Studio, que genera movimientos, sonidos configuración, integración texturas, asignación de etiquetas, colisiones, etc. La secuencia de diseño de la planta virtualizado se muestra en la figura 6.



Figura 4. Desarrollo de virtualización aplicado al proceso pulvimetalurgia.



Comunicación

En este apartado se describe la comunicación entre el PLC y la planta pulvimetalurgia virtualizado en Unity 3D.

Comunicación de software

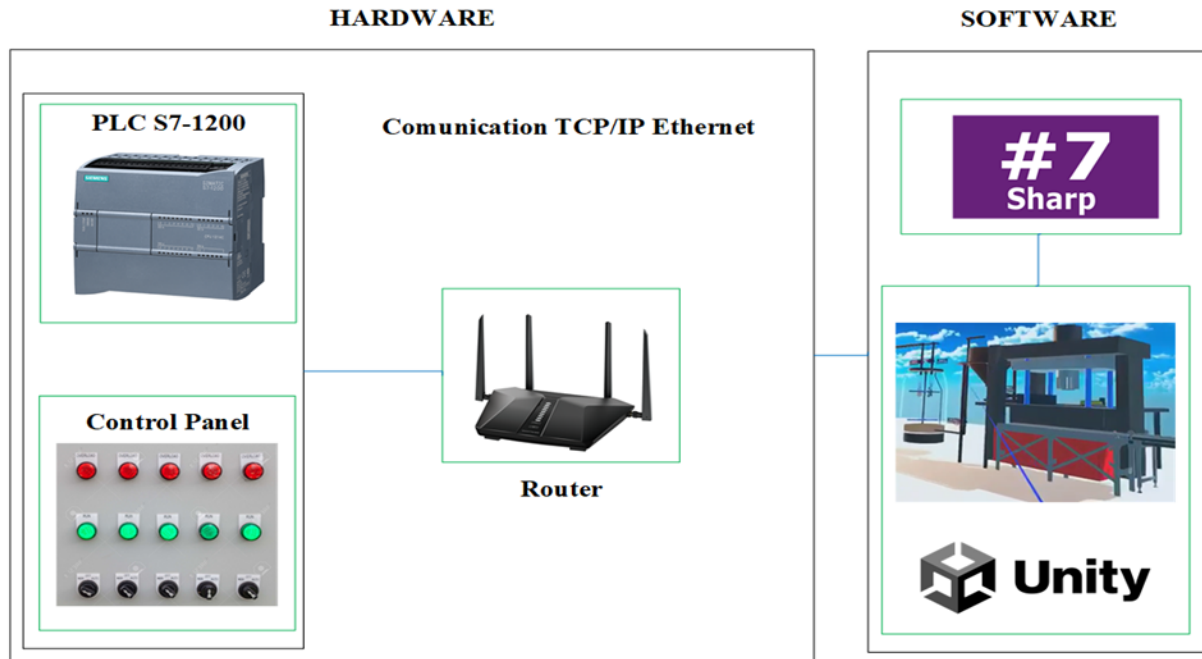
Para establecer la comunicación del software Unity 3D, OPC KEPServer y TIA Portal, se asigna una dirección IP (Internet Protocol) 192.168.0.30 al PLC configurando el dispositivo a través de TIA Portal, la dirección IP es una dirección única que identifica a un dispositivo en Ethernet, permitiendo conectar hasta 254 dispositivos. La conexión entre el software S7 y el PLC se obtiene con la activación de 'Put/Get', con la versión de firmware 4.5 o superior de Siemens.

Comunicación HIL

La comunicación bidireccional entre PLC y Unity 3D se realiza mediante el Protocolo Ethernet industrial abierto TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol), versión 4 (TCP/IPv4) designado una dirección IP 192.168.0.30.

El uso del puerto Sharp7 permite la comunicación entre los PLCs y Unity 3D, incluido en un código de cliente C# Snap7 diseñado para funcionar con hardware basado en protocolo Simatic net, la conexión física entre el PLC y el computador se conectan mediante el cable UTP, designando una dirección IP 192.168.0.1 generador del router como se muestra en la figura 5, esta comunicación se realiza a una velocidad de 10Mbit/s mediante el cable UTP (Unshielded Twister Pair).

Figura 5. Elementos de conexión física de la técnica HIL desarrollada.



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se describe los resultados obtenidos de la virtualización de la planta pulvimetalurgia implementado con la técnica HIL, el funcionamiento del entorno virtualizado consta de válvulas encargadas del paso del polvo a los contenedores, el motor agitador para mezclar dos tipos de polvos en el contenedor, los actuadores asumen el trabajo de comprimir el material y empujar a la banda transportadora la pieza elaborada. La figura 6 presenta el proceso implementado, en el cual el usuario tiene el acceso total del sistema, controlar, manipular e interactuar con entorno desarrollado, manipular los Set Points, control del proceso en tiempo real del sistema en funcionamiento. El usuario puede manipular de dos formas el entorno: (i) Dispositivos hardware de la computadora, mouse y teclado, para realizar acciones específicas y manipulación de elementos de la planta para la visualización de la operación; y (ii) Dispositivos hápticos, Oculus Quest 2, permite visualizar el funcionamiento del entorno virtual mediante gafas de Realidad Virtual al usuario.

Figura 6. Control del proceso de pulvimetalurgia virtualizado.



Virtualización del Proceso

En esta sección describe las 5 etapas de producción del engrane: Dosificación y mezclado, compactación, sinterización, calibración e impregnación de aceite y tratamiento térmico, como se indica en la figura 7.

Figura 7. Etapas de una planta pulvimetalurgia, (1) representa la etapa de dosificación y mezclado, (2) compactación, (3) sinterización, (4) calibración, (5) impregnación de aceite y tratamiento térmico.



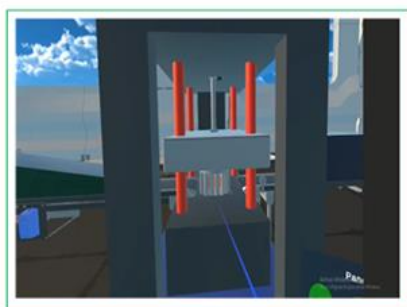
Stange: 1



Stange: 2



Stange: 3



Stange: 4



Stange: 5

El funcionamiento de las etapas es secuencial, la planta inicia al presionar el botón de arranque, se puede realizar desde el panel de control físico y panel virtual en Unity 3D como se muestra en la figura 8, funciona de manera indefinida por etapa hasta presionar el botón de parada. Cada etapa tiene un tiempo

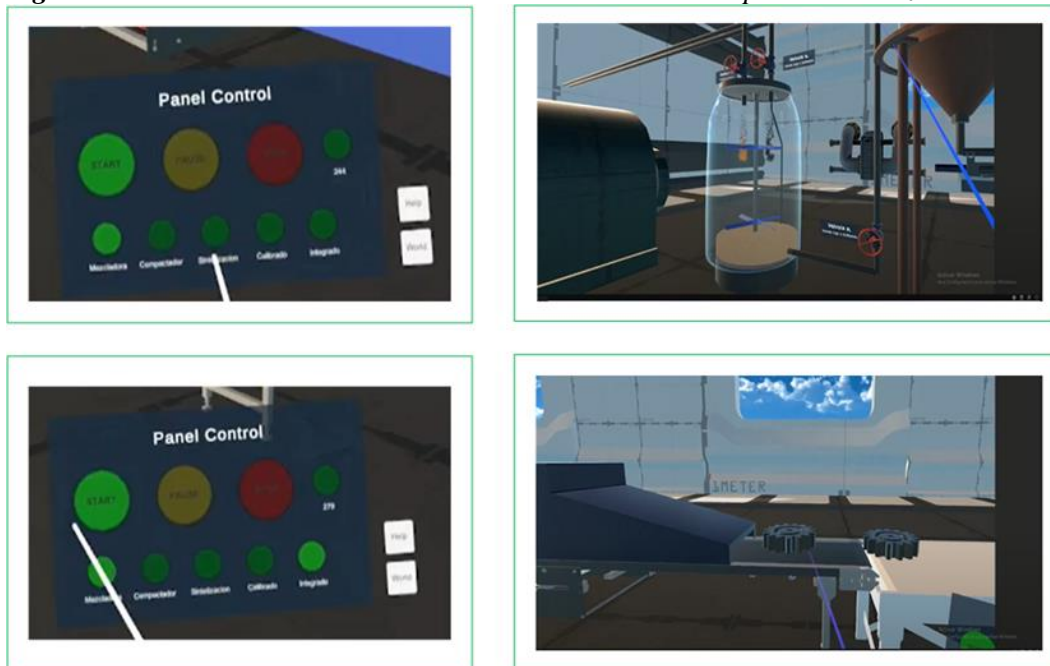
definido para realizar las acciones necesarias y completar la tarea requerida.

Figura 8. Presentación del panel físico VS. Panel virtualizado.



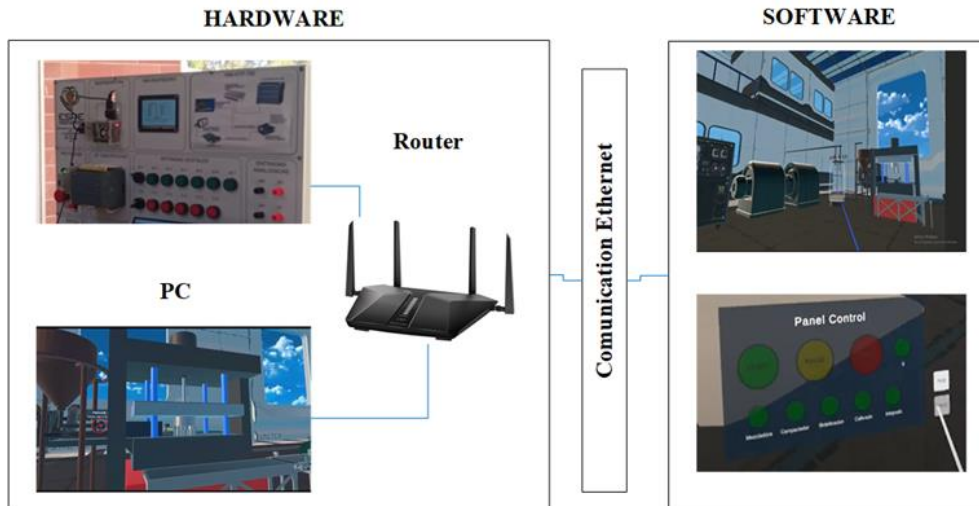
Cada proceso de la planta es identificado mediante los indicadores en el panel de control tanto virtual y físico como se indica la figura 9. En la etapa de mezclado, en el panel virtualizado, se puede observar el indicador de color verde encendido, mostrando la etapa actual, también el valor de Set Point del sensor hasta llegar al valor deseado, activar la siguiente etapa.

Figura 9. Activación de la secuencia mediante indicadores en panel virtualizado.



Finalmente, la comunicación entre PLC y Unity 3D es mediante el protocolo de comunicación IP Ethernet, con una arquitectura cliente – servidor y topología en estrella, conectado un router como servidor Ethernet, el PLC como cliente y los ordenadores con el software Unity 3D como servidor, como se indica en la figura 11. Esta comunicación se realiza una velocidad de 10 Mbps.

Figura 10. Comunicación y virtualización de panel de control.



CONCLUSIONES

La virtualización de la metalurgia de polvos, a través de la implementación de Unity y TIA Portal, proporciona una mejora significativa en la formación y capacitación tanto para empleados como estudiantes, permitiendo así visualizar y ajustar virtualmente las diferentes etapas existentes en un entorno seguro y controlado, más allá de una simple simulación en pantalla, esta virtualización se sumerge en el mundo de la realidad virtual permitiendo así a los usuarios interactuar con procesos simulados utilizando dispositivos como gafas de realidad virtual, lo cual aporta un nivel de realismo que se asemeja aún más al proceso real, esta innovadora técnica ofrece la posibilidad de experimentar con diversos escenarios y configuraciones en un entorno virtual antes de llevarlos a cabo físicamente, esto conlleva a la reducción de riesgos y costos relacionados con ajustes y cambios en la producción, lo que a su vez conduce a un proceso de desarrollo más controlado y económicamente viable.

La realización de este artículo destaca la importancia de la optimización del tiempo de capacitación y la calidad que aporta la visualización de los espacios de trabajo en diferentes procesos de producción. Esta herramienta facilita la comprensión y aplicación segura de las prácticas, reduciendo significativamente la probabilidad de errores durante la manipulación de herramientas. Además, la visualización contribuye a una reducción en los tiempos de mantenimiento, evitando las consecuencias de una mala práctica en el espacio de trabajo. En resumen, la visualización de los espacios de trabajo se presenta como una estrategia fundamental para mejorar la eficiencia, seguridad y calidad en la formación y ejecución de procesos productivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. A. Dobrzański, «Goals and Contemporary Position of Powder Metallurgy in Products Manufacturing», en Powder Metallurgy Fundamentals and Case Studies, IntechOpen, 2017. doi: 10.5772/65378.
- [2] «(PDF) Powder Metallurgy Processes and Making Metal Powder». https://www.researchgate.net/publication/344884511_Powder_Metallurgy_Processes_and_Making_Metal_Powder (accedido 25 de agosto de 2023).
- [3] «AlvarezLugo et al. 2014 A review of the characterization and evaluation of.pdf». Accedido: 29 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v22n4/art03.pdf>
- [4] X. Goso y A. Kale, «Production of titanium metal powder by the HDH process», Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, vol. 111, n.o 3, pp. 203210, 2011.
- [5] «Making Metal Powder». <https://www.mpif.org/IntrotoPM/MakingMetalPowder.aspx> (accedido 29 de agosto de 2023).
- [6] M. Bram, T. Ebel, M. Wolff, A. P. Cysne Barbosa, y N. Tuncer, «18 Applications of powder metallurgy in biomaterials», en Advances in Powder Metallurgy, I. Chang y Y. Zhao, Eds., en Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Woodhead Publishing, 2013, pp. 520554. doi: 10.1533/9780857098900.4.520.
- [7] C. Selcuk, «15 Nondestructive evaluation of powder metallurgy parts», en Advances in Powder Metallurgy, I. Chang y Y. Zhao, Eds., en Woodhead Publishing Series in Metals and Surface Engineering. Woodhead Publishing, 2013, pp. 437454. doi: 10.1533/9780857098900.3.437.
- [8] M. Malaki, «An Insight Into Metal Matrix Composites With Nano Size Reinforcement», en Encyclopedia of Materials: Composites, D. Brabazon, Ed., Oxford: Elsevier, 2021, pp. 4251. doi: 10.1016/B9780128035818.117989.
- [9] X. Kong y X. Kong, «Research on Realtime Virtualization Technology for Control System», en Proceedings of the 5th International Conference on Computer Science and Application Engineering, en CSAE '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, dic. 2021, pp. 15. doi: 10.1145/3487075.3487080



- [10] G. Machado, M. Carvalho, I. Bessa, R. Landau, y V. Lucena Jr, VIRTUAL SETUP AUTOMATIC VIRTUALIZATION OF INDUSTRIAL PLANTS FOR DIDACTIC PURPOSES. 2021, p. 4301. doi: 10.21125/iceri.2021.0996.
- [11] Z. Lin y S. Pearson. An inside look at industrial Ethernet communication protocols, Texas, July 2018, pp. 45.
- [12] X. Kong y X. Kong, «Research on Realtime Virtualization Technology for Control System», en Proceedings of the 5th International Conference on Computer Science and Application Engineering, en CSAE '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, dic. 2021, pp. 15. doi: 10.1145/3487075.3487080.
- [13] A. Lawley y T. F. Murphy, «Metallography of powder metallurgy materials», Materials Characterization, vol. 51, n.o 5, pp. 315327, dic. 2003, doi: 10.1016/j.matchar.2004.01.006.