



Simulador 3d de un proceso de nivel de un tanque esférico para evaluar controladores modernos

Marco Pilatasig, Marco Pilco

Jefe de investigación(I+D+i) y Vinculación

Sección de gestión Posgrados

Maestría en Electrónica y Automatización con mención en Redes Industriales

Artículo científico, previo a la obtención del título de Magíster en Electrónica y Automatización con
mención en Redes Industriales

Msc. Pilatasig Panchi, Marco Antonio

11 de julio del 2023

SIMULADOR 3D DE UN PROCESO DE NIVEL DE UN TANQUE ESFÉRICO PARA EVALUAR CONTROLADORES MODERNOS

Marco Pilatásig, and Marco V. Pilco
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador
{mapilatagsig, mvpilco5}@espe.edu.ec

Resumen. Este paper presenta un simulador 3D para controlar la variable de nivel en un tanque esférico, mediante la utilización de programas para crear ambientes virtuales y de análisis matemático que permiten realizar actividades de entrenamiento, para evaluar algoritmos de control clásico y moderno. Utilizando Unity 3D se crea una escena del sistema que contiene objetos creados en 3 dimensiones y el usuario tiene la posibilidad de interactuar con los mismos. Mediante el software Matlab se implementa los algoritmos de control clásico y moderno, para evaluar el comportamiento de la planta que se está analizando al cambiar el Set Point (SP), adicionalmente se añade una perturbación en el sistema y los controladores deben estar en la capacidad de eliminar la misma. La comunicación entre Unity 3D y Matlab se realiza mediante memorias compartidas, permitiendo el envío y recepción de información entre el entorno virtual y los algoritmos de control propuestos.

Keywords: Simulador, Unity 3D, Controlador PID y PI-Fuzzy.

Abstract: This paper presents a 3D simulator to control the level variable in a spherical tank, using programs to create virtual environments and mathematical analysis that allow training activities to evaluate classical and modern control algorithms. Using Unity 3D a scene of the system is created containing objects created in 3 dimensions and the user has the possibility to interact with them. Using Matlab software, classical and modern control algorithms are implemented to evaluate the behavior of the plant being analyzed by changing the Set Point (SP), additionally a disturbance is added to the system and the controllers must be able to eliminate it. The communication between Unity 3D and Matlab is done through shared memories, allowing the sending and receiving of information between the virtual environment and the proposed control algorithms.

1 Introducción

La medición y control de variables dentro de los procesos industriales y de servicio es un campo de mucha importancia que permiten a las empresas generar mejoras de producción en las siguientes áreas: alimenticia, medicina, petrolera, minera, química, metalúrgica entre otras [1]. Destacando sobre todo variables a nivel industrial como: nivel, volumen, peso, fuerza, presión y temperatura; las mismas que influyen de una manera específica añadiendo características esenciales a los procesos y productos que diariamente son elaborados en todo el mundo [2][3]. Existen instrumentos de medida que se utilizan en la industria que cada día van mejorando a través de los años, conforme la tecnología avanza, permitiendo que las lecturas de los valores a medir tengan el

mínimo error; esto permite un mejor control en los procesos y que no existan pérdidas de materia prima [4]. En el control de variables se destaca el nivel de líquidos en industrias petroleras; ya que es vital cuantificar el volumen y masa que tiene los tanques de almacenamiento debido al valor significativo en los procesos [5][6].

En la industria, el control de nivel en tanques esféricos ha provocado que se apliquen diferentes tecnologías para evaluar el contenido de manera precisa. La comunicación entre los diferentes elementos del sistema, permiten al operador elegir la mejor decisión en las operaciones de un proceso [7][8]. Una lectura inadecuada y la pérdida de datos de medición de la variable de nivel afecta gravemente a las operaciones con tiempos críticos y desconexiones no programadas. La aplicación de la medición de nivel en tanques esféricos está presente dentro de la industria de procesos químicos, en este caso para medir agua, es por eso que las empresas optan por aplicar controladores clásicos y modernos que permitan optimizar los recursos que manejan. Un ejemplo de controlador clásico es el controlador proporcional integral (PI) que utilizando parámetros de sintonización del método Ziegler-Nichols Tuning, logra obtener respuestas favorables [9]. Al hablar de tanques esféricos en el cual el proceso de medición de nivel no es lineal, se puede aplicar diversas técnicas como: lógica difusa, redes neuronales, proporcional integral derivativo (PID) convencional, soft computing que se pueden discutir tanto para una aplicación de forma real o simulada [10].

Cada vez es más común utilizar, pero la base del conocimiento radica en la academia, donde se dan las bases matemáticas y físicas que conllevan el manejo y mejora de estos sistemas. Las Universidades e Institutos deben utilizar los recursos que tienen para lograr capacitar en el manejo de los sistemas de control, para ello lo realizan mediante módulos didácticos o en algunos casos lo realizan sólo de manera teórica, debido a los costos que implica la adquisición de los equipos [11]. No obstante, por efectos de la globalización, la aplicación de tecnologías inmersivas dentro de la educación superior es de alto impacto, utilizando herramientas de realidad virtual (VR) y realidad aumentada (AR) donde según Rivera entre otros, los estudiantes tienen la capacidad de observar cómo trabaja un sistema sin la necesidad que exista los objetos físicos, generando así una ayuda en el proceso de enseñanza-aprendizaje y evitando que los equipos y que la seguridad del alumno sea afectada [12-14]. Existen investigaciones realizadas donde se utiliza AR para la formación y entrenamiento en el área de la Mecánica de Automoción para vehículos híbridos, donde el estudiante puede observar la simulación del movimiento de transmisión de los dispositivos divisores de potencia del motor de combustión interna [15]. La aplicación de VR es otra herramienta útil en la educación, un ejemplo de esto es el trabajo realizado en entornos 3D; orientado al control de nivel en un separador horizontal trifásico utilizado en el área petrolera, donde se aplican controladores PID Fuzzy y control predictivo (MPC). Los usuarios a través de la simulación inmersiva de los controladores avanzados pueden verificar el comportamiento de las variables del proceso simulando el manejo de las variables de control al colocar valores deseados [16]. Los entornos de VR proponen un cambio en el aprendizaje de las instituciones educativas, pasando de un entorno multimedia convencional a un medio más interactivo, inmersivo y emocionante, donde disparan la imaginación del alumno, impulsando a enfoques de aprendizaje constructivista [17]. Al analizar los casos de proyectos donde se aplica las herramientas de AR y VR, se observa el beneficio que desarrollan hacia la comunidad industrial y sobre todo a la educativa, donde el mayor beneficiado es el estudiante, ya que usando las herramientas antes mencionadas puede desarrollar las habilidades y destrezas que necesita para resolver problemáticas de control de variables de ingeniería que aparecen dentro del ámbito

industrial cuando desarrolle las actividades laborales, es por este motivo que el trabajo de investigación plantea un simulador 3D en un entorno de entrenamiento para complementar el proceso de enseñanza aprendizaje en forma práctica.

En este contexto, el presente trabajo propone la evaluación de un controlador clásico como el PID y moderno como el PI Fuzzy. El desarrollo del entorno se efectúa mediante el motor de Unity 3D y está enfocado a complementar el proceso de enseñanza aprendizaje en el área de Electromecánica en la región amazónica del Ecuador, donde se simula el control de nivel de un tanque esférico. La dinámica del proceso del control de nivel, está regido por un modelo matemático analizado en Matlab, esto significa que, al cambiar las entradas del Process Value (PV) y del error, el sistema reaccionará para satisfacer los requerimientos de operación del Set Point (SP) y Control Value (CV), consiguiendo así, un mayor realismo en el entorno virtual desarrollado. El aporte del trabajo es crear un entorno donde se pueda analizar el comportamiento de la variable nivel en tanques esféricos y la integración del software de análisis matemático Matlab con el motor gráfico Unity 3D, utilizando memorias compartidas.

El trabajo está constituido por 4 Secciones incluyendo la Introducción. La Sección 2 describe los materiales y métodos para el desarrollo del entorno virtual; la Sección 3 presenta los resultados y discusiones y finalmente las conclusiones son presentadas en la Sección 4.

2 Materiales y Métodos

En la presente sección se describen los métodos y materiales a utilizar para el desarrollo del entorno 3D; en donde el proceso de control de nivel se realiza en un tanque esférico.

2.1 Proceso de Nivel

El proceso de nivel está compuesto por un tanque reservorio conectado a tuberías que transportan el líquido mediante una bomba eléctrica, luego circula por una llave de paso necesaria para manipular el caudal y un indicador de flujo o rotámetro que permite observar la cantidad de fluido. En la siguiente etapa el líquido llega a un contenedor esférico en donde se realiza el control del nivel mediante la utilización de un sensor ultrasónico que se encuentra ubicado en la parte superior, siendo la parte más importante del proceso. En la parte inferior de la esfera se encuentra una válvula de paso manual que sirve para generar la descarga al reservorio principal para que el proceso continúe nuevamente. Además cuenta con un bypass que sirve para liberar al sistema de presiones elevadas dentro del proceso. En el tanque esférico, se considera como entrada el caudal de ingreso y en la salida la altura del nivel. A continuación, se presenta el proceso mediante el diagrama P&ID aplicando la norma ISA 5.1 (see Fig. 1).

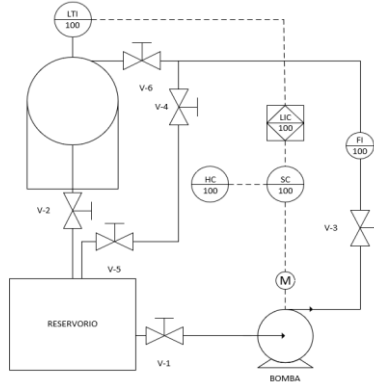


Fig. 1. Diagrama P&ID del proceso de medición de nivel.

Donde LTI es el transmisor indicador de nivel; LIC es el controlador indicador de nivel; SC es el controlador de velocidad del motor; FI es el indicador de flujo y todas las denominaciones con V son las válvulas de paso manuales.

2.2 Estructura del Sistema

Para obtener la dinámica del proceso de nivel en el tanque esférico se requiere partir desde la ecuación diferencial presentada en [10]; por ende, se presenta la ecuación (1), la cual está basada en la derivada del volumen con respecto al tiempo, donde: F_{in} es el caudal de entrada y F_{out} es el caudal de salida

$$\frac{dV}{dt} = F_{in} - F_{out} \quad (1)$$

Es determinante encontrar el volumen del tanque esférico V ; mismo que está gobernado por la ecuación (2) y está basado en la Figura 2; donde se puede apreciar el diagrama de cuerpo libre de un tanque esférico; R es el radio del tanque esférico y h es la altura del nivel del líquido en el tanque.

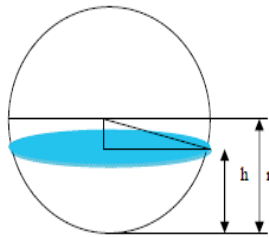


Fig. 2. Diagrama de cuerpo libre del sistema de tanque esférico

$$V = \frac{4}{3} \pi R^3 \quad (2)$$

Para obtener la función de transferencia $Gp(s)$ del sistema SISO, es decir una entrada y una salida, que represente la dinámica del proceso obtenida desde [9] se

emplea la ecuación (3), donde K es la ganancia del proceso; τs es la constante de tiempo y td es el tiempo muerto.

$$Gp(s) = \frac{K}{1+\tau s} e^{-tds} \quad (3)$$

Transformado la ecuación (3) al dominio del tiempo se obtiene lo siguiente:

$$T \frac{dy(t)}{dt} = -y(t) + Ku(t - \tau_p) \quad (4)$$

2.3 Entorno Virtual

En la presente sección se evidencia el desarrollo del entorno virtual mediante el motor gráfico Unity 3D, dividido en tres etapas: i) *Modelado del entorno 3D*; ii) *Programación de los scripts del entorno y comportamiento del sistema*; y finalmente iii) *Comunicación entre Matlab y Unity 3D*.

- i. **Modelado del Entorno 3D.** Para realizar el modelo 3D se crea un modelo CAD usando el software SolidWorks. El entorno principal del control de nivel contiene un recipiente esférico de 50 cm de diámetro, un motor que se encuentra en la parte inferior que permite impulsar el líquido por tuberías de ½ pulgada de diámetro. Se modela un tanque reservorio con sus respectivas llaves de paso de tipo manual, mismas que manipulan el paso del caudal para simular las perturbaciones en el sistema. Todo el sistema está colocado en una estructura metálica que tiene como elemento principal el tanque esférico; en la parte superior del mismo se encuentra un transmisor de nivel ultrasónico que permite medir el nivel del líquido del sistema, finalmente en la parte inferior del tanque se ubica una llave de paso para descargar el fluido al reservorio. Con el entorno modelado se procede a la respectiva importación desde el software CAD, inicialmente el archivo posee la extensión .STEP, por tanto, se debe utilizar el software 3DS MAX a fin de generar un proyecto con extensión .FBX, y poder importarlo desde el Unity 3D en forma de objeto.

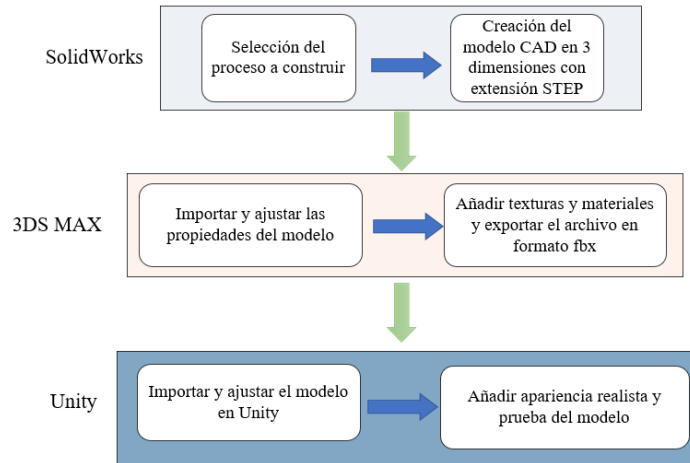


Fig. 3. Procedimiento para el modelado del entorno 3D

ii. **Programación de los Scripts del Entorno y Comportamiento del Sistema.**

Para mejorar la interacción del entorno virtual con los usuarios; es necesario realizar Scripts que controlen y manipulen los elementos a fin de tener comportamientos independientes. Adicionalmente los scripts permiten la simulación en tiempo real de las variables de control presentes en el tanque esférico. El código desarrollado establece la comunicación entre el Unity y el Matlab; es decir se simula el llenado del fluido en el tanque principal y el tanque de respaldo, esta variable evoluciona acorde a la variable de salida del proceso, misma que es recibida desde la función de transferencia en Matlab.

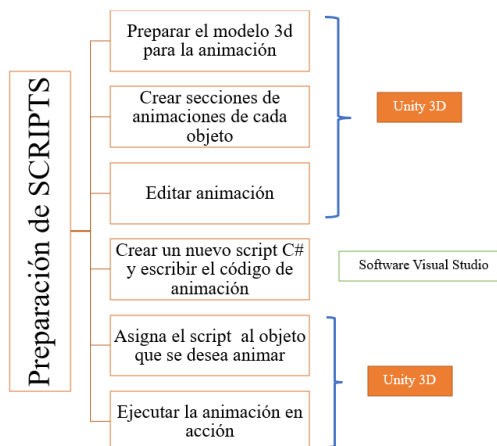


Fig. 4. Scripts de control en Unity.

iii. Comunicación entre Matlab y Unity 3D.

La Fig. 5 presenta el desarrollo del sistema para el entrenamiento virtual en donde se evidencia el diagrama para la comunicación en tiempo real, misma que es de forma bilateral, es decir mediante memorias compartidas entre el Unity y el software Matlab.

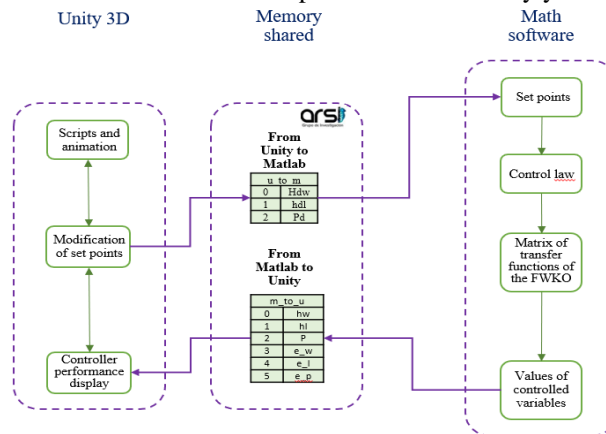


Fig. 5. Comunicación entre Matlab y Unity 3D.

iv. Procedimiento de ejecución del sistema

La ejecución del sistema se observa en la Fig. 6: el usuario realiza la apertura de la escena de animación en Unity 3D y el controlador en Matlab con el objetivo de ejecutar ambos archivos, luego se ingresa el valor del SP del proceso y con la ayuda de memorias compartidas llega al controlador para que ejecute la acción de control; la señal de PV y CV es enviada de retorno a Unity 3D, para visualizar en las gráficas de control del proceso y el usuario puede realizar la interacción con el entorno virtual y el análisis de los resultados obtenidos, de esta manera se observa el comportamiento de la variable de nivel en un tanque esférico de acuerdo a valores ingresados al inicio de la simulación.

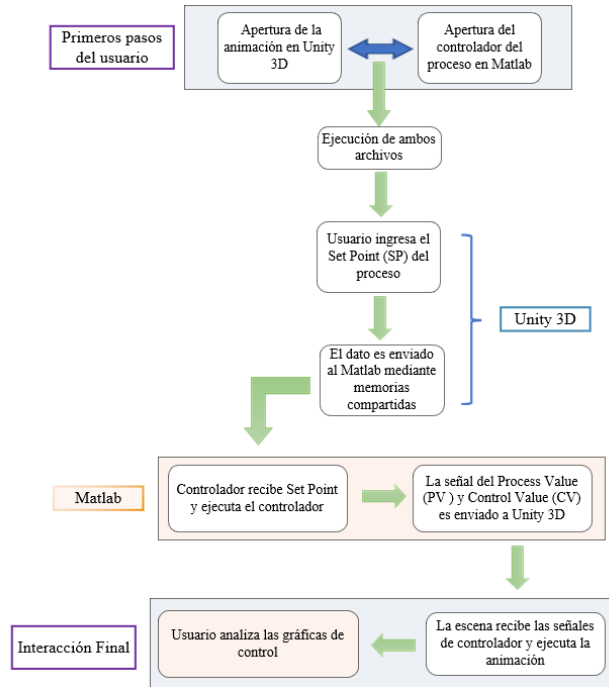


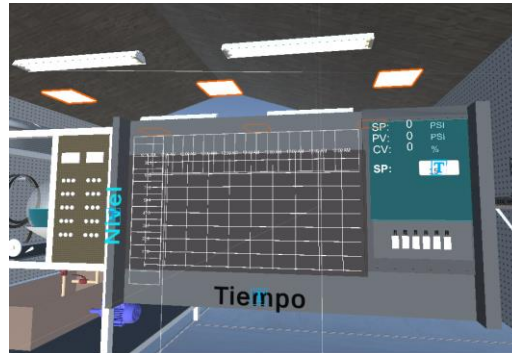
Fig. 6. Pasos para ejecutar el sistema de simulación del modelo de entrenamiento.

3 Resultados y Discusiones

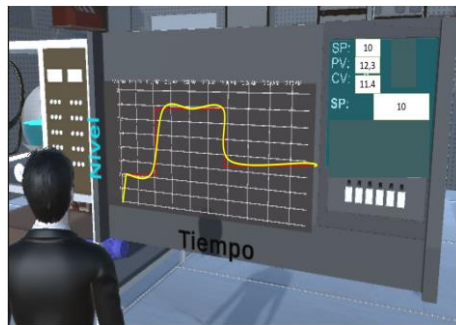
La presente sección indica el comportamiento del proceso de nivel realizado, considerando las siguientes etapas: *i) interacción del usuario y sistema, ii) control del proceso y iii) evaluación de los controladores*

3.1 Interacción del usuario y el sistema

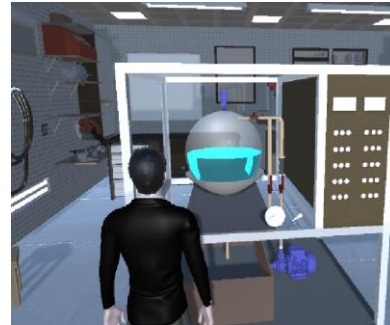
En esta sección se observa la interacción del usuario en el sistema, existe una pantalla de visualización que permite observar el comportamiento de la variable a controlar como muestra la Fig.7 (a). Para ingresar los datos existe en la pantalla un área donde se digita desde el teclado el valor del SP; en la gráfica se observa el comportamiento de la señal de nivel, PV, error y CV como muestra la Fig. 7 (b). Finalmente, el usuario puede desplazarse y mirar la variación de nivel en el sistema como se observa en Fig. 7(c).



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Modelo de inmersión del usuario en Unity 3D

a) Control principal del sistema, b) Panel de ingreso de datos, c) Interacción entre el operador y el sistema de nivel.

3.2 Control del proceso

En la presente sección se detalla los modelos experimentales encontrados en el control de nivel; para lo cual se enfatizó en dos controladores: a) *control clásico* y b) *control moderno*.

a) *Control clásico*, se aplica el controlador PID que de acuerdo a [18] el modelo y la estructura se puede observar en la ecuación (5) y Fig. 8.

$$C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (5)$$

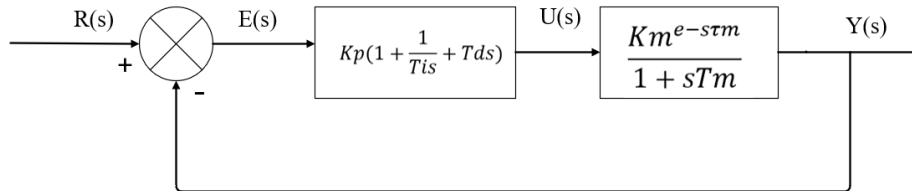


Fig. 8. Estructura del modelo de control PID

La función de transferencia para la planta en estudio está dada aplicando la ecuación (3):

$$G(s) = \frac{1250}{5498s+1} e^{-4.77s}$$

Como es necesario trabajar en el dominio del tiempo, ya que Unity acepta el modelo matemático en función de una ecuación diferencial, se aplica la ecuación 4 obteniendo lo siguiente:

$$5498 \frac{dy(t)}{dt} = -y(t) + 1250u(t - 4.77)$$

En el controlador se puede aplicar reglas de sintonía según lo indica la Tabla 1; a fin de verificar que método brinda una mejor respuesta, por ende, se realizan las pruebas y se observa el comportamiento de las señales de control con cada uno de los métodos de sintonía; de esta manera se elige Cohen Coon, debido a que las constantes de sintonía generan un mejor resultado en concordancia con la simulación realizada en Matlab como se observa en la Fig 9.

Tabla 1. Parámetros de sintonía de los métodos aplicados.

Parámetros de sintonía	Kp	Ti	Td
<i>Ziegler Nichols</i>	1.8442	9.54	2.385
Cohen Coon	1.245	11.9206	1.7646
<i>Parr</i>	1.1526	11.925	1.908

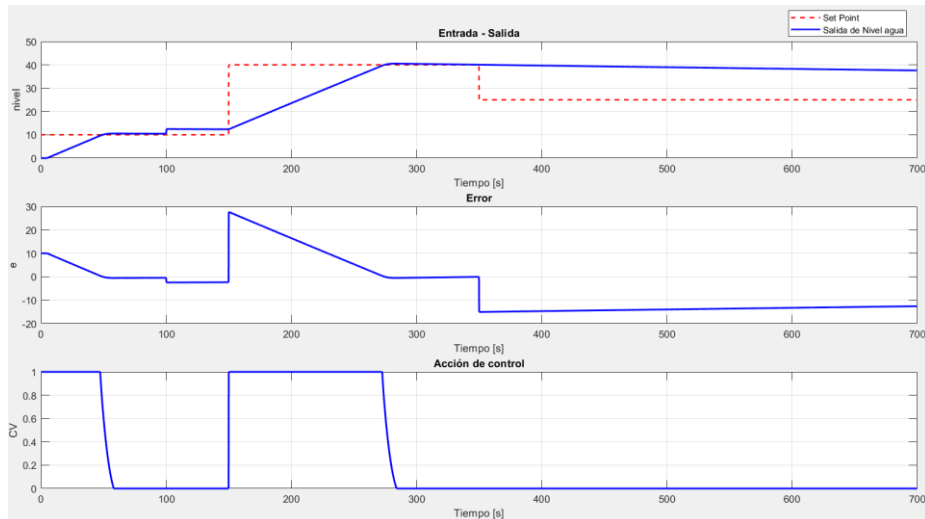


Fig.9. Señal del PV, error y CV del controlador PID

En las pruebas experimentales del controlador se envía una función escalón con el respectivo SP y perturbación con el objetivo de determinar el control óptimo de PV; donde se evidencia la disminución del máximo sobre impulso, se elimina el error en estado estacionario y disminuye el tiempo de establecimiento.

- a) *Control moderno*, se aplica el control PI-Fuzzy [19] acorde a la estructura que se presenta en la Fig 10.

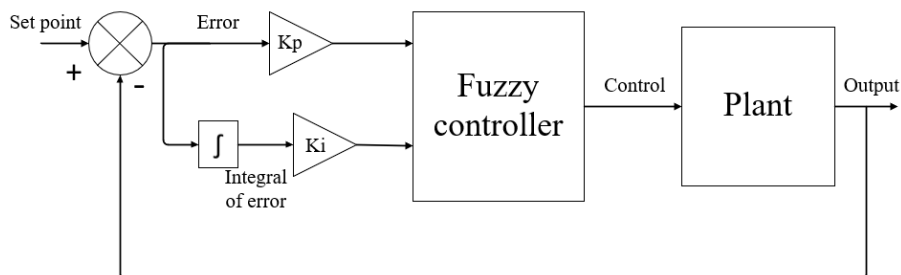
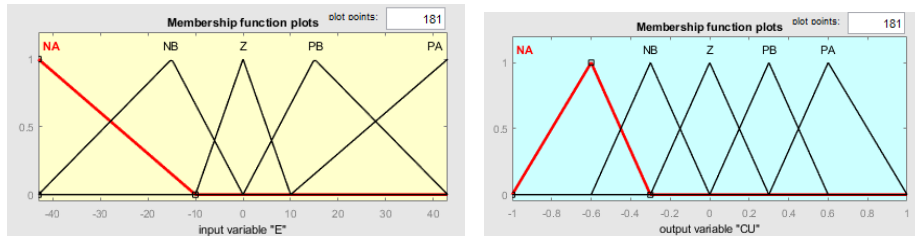


Fig 10. Estructura del controlador PI-Fuzzy

Para aplicar el controlador es necesario definir las entradas las cuales son: error y la integral del error, adicionalmente para la salida se tiene el control de la variable (CV). Se genera 5 funciones de membresía para cada una de ellas definidas por: Negativo Alto (NA), Negativo Bajo (NB), cero (Z), Positivo Bajo (PB) y Positivo Alto (PA). Las reglas se observan en la **Tabla 2** donde está formado por el error y la sumatoria del error.

Tabla 2. Reglas del controlador difuso

$e \setminus \sum e$	NA	NB	Z	PB	PA
NA	NA	NA	NA	NB	Z
NB	NA	NA	NB	Z	PB
Z	NA	NB	Z	PB	PA
PB	NB	Z	PB	PA	PA
PA	Z	PB	PA	PA	PA



a) b)
 Fig. 11 Funciones de membresía; a) Función de membresía de la variable de entrada, b) Función de membresía de la variable de salida.

En la Fig. 11 se observa que de acuerdo a las reglas propuestas las funciones de membresía de la entrada y salida son triangulares.

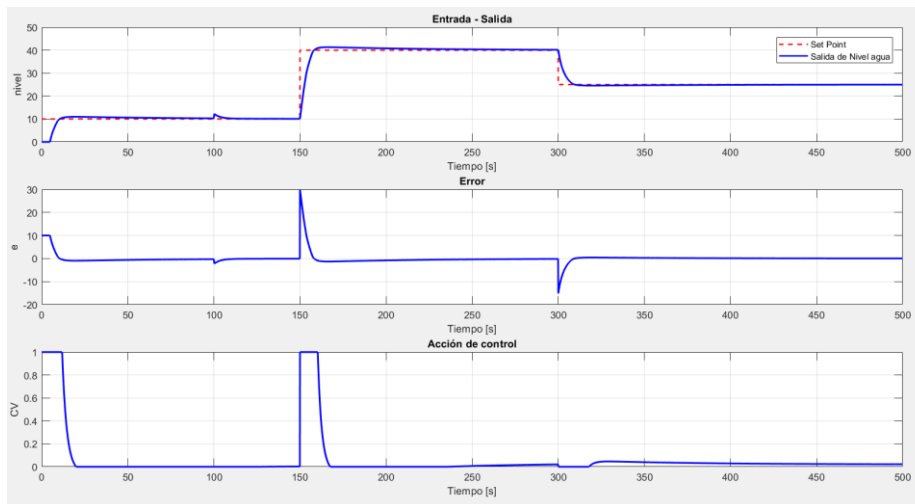


Fig. 12. Señal del PV, error y CV del controlador PI-Fuzzy

Como se observa en la Fig.12 en el controlador se envía una función escalón para apreciar el comportamiento de la planta bajo diferentes consideraciones del SP y

perturbaciones añadidas. Se aprecia un aumento en el ts la disminución del máximo sobre impulso, se elimina el error en estado estacionario y disminuye el tiempo de establecimiento.

3.3 Evaluación de los controladores

Los resultados que se obtienen al comparar los dos controladores permiten observar algunas características que son resumidas en la Tabla III. La integral absoluta del error (IAE) tiene un menor valor en el controlador PID que significa que existe una menor área bajo la curva con respecto al Set Point provocando el establecimiento de la señal sea más rápida como se observa en la Fig. 13; el Rise Time o tiempo de subida en el controlador PID es mayor provocando que sea más lento; el Settling Time o tiempo de establecimiento en el PI-Fuzzy es mayor. En los establecimientos mínimos y máximos se observa no que existe una mayor variación de valores. En el sobrepulso se observa el PID tiene un menor valor y finalmente en el tiempo pico en PID-Fuzzy tiene un menor tiempo de establecimiento.

	PID	PI-Fuzzy
IAE:	197.2158	268.7170
RiseTime(seg)	10.01040	3.47291
SettlingTime(seg):	37.92308	1.1003e+02
SettlingMin(seg):	18.0488	18.4135
SettlingMax(seg):	20.5452	21.9321
Overshoot(%):	2.7262	9.3966
Peak(mm):	20.5452	21.9321
PeakTime(mm):	30.6	15

Las principales diferencias se pueden observar en los tiempos de establecimiento, en el IAE las cuales pueden definir la elección de uno u otro controlador

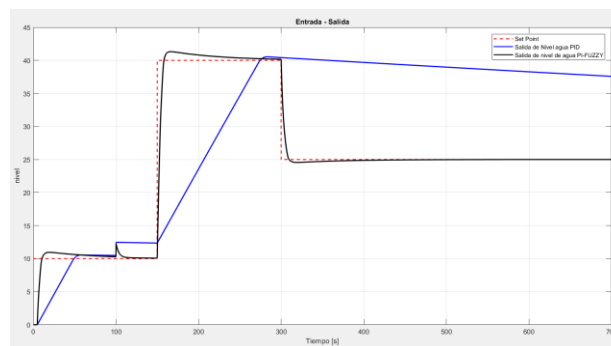


Fig. 13 Señal de comparación entre el controlador PID y PI-Fuzzy

4 Conclusiones

El entorno virtual creado en Unity 3D es un sistema interactivo que permite al usuario realizar actividades de entrenamiento relacionados con el control de la variable nivel y sirve como complemento para el proceso de enseñanza aprendizaje en forma práctica.

A partir de un diagrama P&ID, con herramientas CAD se diseñó una planta de control de nivel de un tanque esférico, el mismo que fue animado y caracterizado en el motor gráfico (Unity 3D) y posteriormente enlazado con Matlab para que se pueda evaluar los algoritmos de control implementados.

En base a los resultados se puede indicar que el controlador PI Fuzzy es el que presenta respuestas más rápidas, pero pequeños porcentajes de overshoot.

El entorno virtual es una alternativa de bajo costo para el entrenamiento del sistema de control, ya que permite visualizar la respuesta dinámica de los instrumentos y equipos industriales, además proporciona las herramientas necesarias para el aprendizaje en control automático.

El sistema virtual implementado, permite al usuario un entrenamiento libre del riesgo físico, del daño de la infraestructura del módulo y brinda la oportunidad de repetir indefinidamente el proceso sin costo.

References

- [1] Berdugo Correa, C. R., Barbosa Correa, R. A. y Prada Angarita, L. M. (2016). Variables relevantes para la medición de la calidad percibida del servicio bancario. DYNA, 83(197), 212–221. <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n197.55426>
- [2] C. Melgarejo, C., & Ortigoza, E. (2021, December). Design of a production planning system for a production line of a paint industry. In 2021 IEEE CHILEAN Conference on Electrical, Electronics Engineering, Information and Communication Technologies (CHILECON) (pp. 1-6). IEEE
- [3] González-Filgueira, G., & Permuy, F. J. R. (2018). Automatización de una planta industrial de alimentación mediante control distribuido. Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, (27), 1-17.
- [4] Quispe Paredes, E. I. (2018). Diseño y Automatización de un Scada para una Planta de Cal en RSVIEW32, Aplicando una Red Industrial Ethernet TCP/IP.
- [5] Díaz, A. E., Marín, L. E. O., & González, H. V. (2018). Instrumentación para sistemas automatizados de medición dinámica de hidrocarburos. Ingeniería Solidaria, 14(26), 1-14.
- [6] Represa, S., Sanucci, C., & Porta, A. (2020, December). Análisis de los niveles de metano y dióxido de nitrógeno en área de producción petrolera usando el sensor

TROPOMI/Sentinel-5P. In 2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON) (pp. 1-5). IEEE.

[7] Bunce Villacis, M. J. (2020). Elaboración de una guía para medición estática de petróleo e hidrocarburos líquidos en tanques de almacenamiento (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2020.).

[8] Paredes Lafuente, M. (2020). CALCULO DE RECIPIENTE A PRESION ESFERICO PARA ALMACENAMIENTO DE GLP BAJO LA NORMA ASME VIII div. 1 (Doctoral dissertation).

[9] Lakshmanan, M., Chitra, K., & Srinivasan, S. (2020, July). Online Tuning of PI Controller for Spherical Tank System Using Root Locus Technique with Regulatory Operation. In 2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA) (pp. 1035-1041). IEEE.

[10] Praveena, R., Abhinaya, R., Abinaya, S. P., Aishwarya, G., & Kumar, A. (2014, March). Level control of a spherical tank system using conventional & intelligent controllers. In 2014 International Conference on Green Computing Communication and Electrical Engineering (ICGCCEE) (pp. 1-6). IEEE.

[11] Rivera, E. F., Morales, E. E., Florez, C. C., & Toasa, R. M. (2021, September). Development of an Augmented Reality System to Support the Teaching-Learning Process in Automotive Mechatronics. In International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics (pp. 451-461). Springer, Cham.

[12] Rodríguez, O. I., Panchi, E. I., Catota, M. V., & Andaluz, V. H. (2022). Virtual Learning Environment for a Multivariate System. In Perspectives and Trends in Education and Technology (pp. 661-673). Springer, Singapore.

[13] Chilingua, M. D., Mañay, E. D., Rivera, E. F., & Pilco, M. V. (2021, October). Virtual Training System Based on the Physiological Cycle of the Potato INIAP Suprema. In International Symposium on Visual Computing (pp. 512-521). Springer, Cham.

[14] Bermudez, M. P. C., Corredor, C. M., & Rincón, J. C. R. (2019). Realidad aumentada vs. realidad virtual: Una revisión conceptual. Teknos revista científica, 10-19.

[15] Rivera, E. F., Morales, E. E., Florez, C. C., & Toasa, R. M. (2021, September). Development of an Augmented Reality System to Support the Teaching-Learning Process in Automotive Mechatronics. In International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics (pp. 451-461). Springer, Cham.

[16] Proaño C, Z., & Andaluz, V. H. (2022). Virtual Training System of a Horizontal Three-Phase Separator. In Perspectives and Trends in Education and Technology (pp. 633-647). Springer, Singapore.

[17]H.-M. Huang, U. Rauch, y S.-S. Liaw, “Investigating learners’ attitudes toward virtual reality learning environments: Based on a constructivist approach”, *Computers & Education*, vol. 55, núm. 3, pp. 1171–1182, nov. 2010, doi: 10.1016/j.compedu.2010.05.014.

[18] O'dwyer, A. (2009). Handbook of PI and PID controller tuning rules. World Scientific.

[19] Avatefipour, O., Piltan, F., Nasrabad, M. R. S., Sahamijoo, G., & Khalilian, A. (2014). Design New Robust Self Tuning Fuzzy Backstopping Methodology. *International Journal of Information Engineering & Electronic Business*, 6(1).