



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**  
**CARRERA DE MECATRÓNICA**

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LA PLANTA B DEL  
LABORATORIO LACTI DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA MONITOREADO A TRAVÉS DE UN AGENTE CON  
INTELIGENCIA ARTIFICIAL

Trabajo de titulación previo a la obtención  
del título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: PABLO ISMAEL CHUQUIRA RIVERA  
FABIAN ALEXANDER URGILES SIGUENZA  
TUTOR: ING. PAÚL ANDRÉS CHASI PESANTEZ, MSc.

Cuenca – Ecuador

2026

# CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Pablo Ismael Chuquira Rivera con documento de identificación N° 0107401408 y Fabian Alexander Urgiles Siguenza con documento de identificación N° 0106007800; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 1 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Pablo Ismael Chuquira Rivera  
0107401408



---

Fabian Alexander Urgiles Siguenza  
0106007800

# **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Pablo Ismael Chuquirá Rivera con documento de identificación N° 0107401408 y Fabian Alexander Urgiles Siguenza con documento de identificación N° 0106007800, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del artículo académico: Desarrollo de un sistema de control en la planta b del laboratorio lacti de la universidad politécnica salesiana monitoreado a través de un agente con inteligencia artificial, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 1 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Pablo Ismael Chuquirá Rivera  
0107401408



---

Fabian Alexander Urgiles Siguenza  
0106007800

# **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Paúl Andrés Chasi Pesantez con documento de identificación N° 0103650295, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LA PLANTA B DEL LABORATORIO LACTI DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA MONITOREADO A TRAVÉS DE UN AGENTE CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL, realizado por Pablo Ismael Chuquirá Rivera con documento de identificación N° 0107401408 y Fabian Alexander Urgiles Siguenza con documento de identificación N° 0106007800, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 1 de febrero del 2026

Atentamente,



---

Paúl Andrés Chasi Pesantez  
0103650295

# Dedicatoria

***Pablo Chuquirá***

*“Those who are in love with practice without knowledge are like the sailor who gets into a ship without rudder or compass.”*

— Leonardo da Vinci

La consecución de este proyecto se la agradezco infinitamente a mi madre que esta en el cielo, por su guía y por su lucha inquebrantable para que yo cumpliera mis sueños hasta el final de sus días. Ella impulsó, sin condiciones, mi camino y mi destino. Agradezco también a mi padre y a mis hermanos, quienes han sido mi fuerza, mi confianza y mi aliento para llegar hasta aquí. Finalmente, a mi tío, que en los últimos años ha sido un pilar fundamental para mantenerme de pie durante este recorrido. A todos ellos les dedico este trabajo.

***Fabián Urgilés***

*“The present is theirs; the future, for which I really worked, is mine.”*

— Nikola Tesla

Dedico este trabajo a todas las personas que me han acompañado a lo largo de estos años, tanto a quienes han estado desde siempre como a quienes llegaron recientemente a mi vida. A cada uno de ellos, mi profundo agradecimiento, porque no sería quien soy sin las personas que me rodean. Somos, en esencia, una construcción de quienes caminan con nosotros; gracias por ser parte de mi formación, tanto profesional como personal.

# Agradecimientos

## *Pablo Chuquirá*

Agradezco profundamente a mis padres por todo lo que han hecho por mí: por su esfuerzo, su apoyo constante y por enseñarme a no rendirme; y, de manera muy especial, a mi madre, que hoy está en el cielo, a quien le agradezco con todo mi corazón por todo lo que hizo por mí y porque, sin duda, nada de esto habría sido posible sin el inmenso esfuerzo que realizó en vida. A mis hermanos, por estar siempre a mi lado y ser quienes más me han ayudado en cada etapa de este camino; a mis sobrinos, por darme una motivación especial para seguir creciendo y esforzarme cada día, con el deseo de ser un ejemplo para ellos; a mis tíos y a toda mi familia, que de una u otra manera, incluso con el apoyo más pequeño, han contribuido a que pueda avanzar y mantenerme firme, en especial a mi tío Marco, quien en estos últimos años se ha vuelto muy cercano a mí y ha sido un soporte importante. Finalmente, agradezco a mis amigos por su compañía incondicional, por impulsarme a seguir adelante y por estar presentes en los momentos más difíciles, y al Ing. Paul Chasi por la confianza brindada y por ser la guía fundamental en el desarrollo de este proyecto.

## *Fabián Urgilés*

En primer lugar, agradezco a Dios por la fortaleza, la constancia y el carácter que me permitió nunca rendirme a lo largo de este proceso. Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres y a mis hermanos por su apoyo incondicional en cada etapa de este camino, así como a mis abuelos, por estar siempre presentes con su amor y guía. A mis amigos, gracias por no permitirme recorrer este proceso en soledad, por el acompañamiento sincero y el respaldo constante, y al Ing. Paul Chasi, gracias por su paciencia, guía y confianza durante la realización de este proyecto.

Finalmente, agradezco a cada persona que caminó a mi lado, ya sea por un corto o largo tramo, porque cada encuentro dejó una huella en mi formación personal y profesional.

Este documento fue realizado enteramente en L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X

# Índice

<b>Certificado de responsabilidad y autoría del trabajo de titulación</b>	<b>I</b>
<b>Certificado de cesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la Universidad Politécnica Salesiana</b>	<b>II</b>
<b>Certificado de dirección del trabajo de titulación</b>	<b>III</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>IV</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>V</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>2</b>
<b>2. Metodología</b>	<b>2</b>
2.1. Modelado dinámico de la planta de nivel de agua . . . . .	4
2.2. Consideraciones del modelo de la planta para la implementación del PID en el PLC . . . . .	4
2.3. Implementación y parametrización del modelo en la planta B . . . . .	5
2.4. Fundamentación del Algoritmo de Control PID . . . . .	5
2.5. Sintonización y Resultados Experimentales . . . . .	6
2.6. Control, monitoreo y base de datos . . . . .	6
2.7. Monitoréo del Sistema Mediante el Agente de Inteligencia Artificial . . . . .	7
2.8. Representación y Análisis Visual de la Información del Sistema . . . . .	9
<b>3. Resultados y Discusión</b>	<b>9</b>
<b>4. Conclusiones</b>	<b>10</b>



# DESARROLLO DE UN SISTEMA DE CONTROL EN LA PLANTA B DEL LABORATORIO LACTI DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA MONITOREADO A TRAVÉS DE UN AGENTE CON INTELIGENCIA ARTIFICIAL

## DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM IN PLANT B OF THE LACTI LABORATORY AT THE UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA MONITORED THROUGH AN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AGENT

Pablo Chuquirá <sup>1</sup>, , Fabian Urgiles <sup>2</sup>, , Paul Chasi <sup>3</sup>, 

### Resumen

La arquitectura propuesta integra, mediante un protocolo de comunicación industrial, la interacción entre el sistema de control y un asistente de inteligencia artificial. El proceso de control se implementa a través de un controlador PID, encargado de regular y estabilizar el nivel del tanque en torno a un punto de consigna definido por el usuario, manteniendo su desempeño frente a distintas perturbaciones operativas. Paralelamente, el asistente de inteligencia artificial se implementa sobre una plataforma de automatización basada en un enfoque multiagente, en la cual un agente principal se encarga de interpretar y clasificar las solicitudes del usuario, redirigiéndolas hacia agentes especializados responsables de ejecutar acciones específicas, tales como la consulta de variables de proceso, la modificación de parámetros de control y la generación de reportes. Esta organización modular favorece la escalabilidad del sistema, reduce la carga computacional y facilita su adaptación a nuevos requerimientos funcionales.

**Palabras clave:** Monitoreo industrial; Inteligencia artificial; Control PID; Sistemas multiagente; Automatización industrial; Interacción en lenguaje natural.

### Abstract

The proposed architecture integrates, through an industrial communication protocol, the interaction between the control system and an artificial intelligence assistant. The control process is implemented using a PID controller, responsible for regulating and stabilizing the tank level around a user-defined set-point, maintaining its performance under different operational disturbances. In parallel, the artificial intelligence assistant is deployed on an automation platform based on a multi-agent approach, in which a main agent is responsible for interpreting and classifying user requests, redirecting them to specialized agents tasked with executing specific actions, such as querying process variables, modifying control parameters, and generating reports. This modular organization enhances system scalability, reduces computational load, and facilitates adaptation to new functional requirements.

**Keywords:** Industrial monitoring; Artificial intelligence; PID control; Multi-agent systems; Industrial automation; Natural language interaction.

## 1. Introducción

Hoy en día, la automatización industrial se sustenta, en gran medida, en la capacidad de observar, comprender y actuar sobre los procesos productivos de manera continua, siendo el control automático de las plantas un elemento clave para garantizar que las variables de proceso se mantengan dentro de rangos operativos seguros y eficientes. En este contexto, el monitoreo industrial se ha consolidado como un componente esencial para garantizar la operación segura y eficiente de los sistemas, al permitir la supervisión en tiempo real de las variables de proceso y la aplicación de acciones correctivas oportunas ante desviaciones operativas, asegurando la estabilidad del proceso y el desempeño adecuado de los lazos de control implementados [1]. Esta capacidad resulta especialmente relevante en entornos industriales caracterizados por una alta complejidad operativa, variabilidad en las condiciones de trabajo y exigencias crecientes en términos de calidad y confiabilidad, donde el monitoreo continuo actúa como un soporte fundamental para el control de las plantas y la prevención de fallas [2].

Históricamente, estas necesidades fueron abordadas mediante sistemas de Control de Supervisión y Adquisición de Datos (SCADA), los cuales representaron un avance significativo en la evolución del control industrial al centralizar la adquisición de señales y facilitar la visualización del estado de la planta [3]. Con el paso del tiempo, la incorporación de sensores de mayor precisión, redes de comunicación industriales y plataformas computacionales más robustas permitió ampliar el alcance de estos sistemas, reduciendo la dependencia de inspecciones manuales y mejorando la capacidad de respuesta ante eventos anómalos [4].

No obstante, el crecimiento sostenido de la automatización y la digitalización de los procesos industriales dio lugar a un incremento considerable en la cantidad de datos generados por los sistemas de monitoreo. Frente a este escenario, surgieron enfoques orientados a la conectividad y al acceso distribuido a la información, entre los que destaca el Internet de las Cosas (IoT) aplicado al ámbito industrial, conocido como Industrial Internet of Things (IIoT) [5]. Este paradigma permitió la interconexión de sensores, actuadores y dispositivos de control a través de redes de comunicación, habilitando la transmisión continua de datos y el acceso remoto a los procesos productivos [6].

Sin embargo, a pesar de los beneficios asociados al IIoT, su implementación ha puesto en evidencia nuevas limitaciones. El volumen, la velocidad y la diversidad de los datos recolectados superan, en muchos casos, la capacidad de análisis de los métodos tradicionales de supervisión, lo que dificulta la extracción de información relevante en tiempo real [7]. Como consecuencia, numerosos sistemas continúan dependiendo de la intervención humana para interpretar la información y

tomar decisiones, mientras que aspectos como la seguridad de los datos, la latencia en la comunicación y la privacidad representan desafíos significativos en entornos industriales reales [8].

Ante estas limitaciones, el monitoreo industrial ha comenzado a evolucionar desde enfoques centrados únicamente en la adquisición y visualización de datos hacia modelos más autónomos e inteligentes. En este nuevo paradigma, el valor del sistema no radica únicamente en la disponibilidad de información, sino en su capacidad para analizarla, contextualizarla y transformarla en conocimiento útil para el operador. En este sentido, la integración de técnicas de Inteligencia Artificial (IA) permite el procesamiento avanzado de grandes volúmenes de datos mediante modelos de aprendizaje automático y profundo, sentando las bases para sistemas de supervisión más proactivos [9]. En paralelo a estos avances, los esquemas clásicos de control, como los controladores Proporcional-Integral-Derivativo (PID), continúan siendo ampliamente utilizados en aplicaciones industriales debido a su robustez, simplicidad de implementación y buen desempeño frente a perturbaciones, especialmente en procesos de nivel.

Dentro de este marco, el uso de agentes de inteligencia artificial aplicados al monitoreo industrial representa una evolución natural de los sistemas de supervisión. Estos agentes permiten automatizar el análisis de la información, mejorar la toma de decisiones y habilitar nuevas formas de interacción entre el usuario y el sistema mediante interfaces basadas en lenguaje natural. Esta aproximación contribuye a una supervisión más eficiente y flexible, alineada con las tendencias actuales de la automatización industrial y con los desarrollos recientes en agentes inteligentes para entornos IIoT [10].

## 2. Metodología

El proyecto desarrollado en el laboratorio LACTI (Laboratorio de Control y Automatización Industrial) de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, se orienta al diseño e implementación de un sistema de monitoreo aplicado a una planta didáctica de control de nivel de un tanque de agua.

Los componentes e instrumentos utilizados en la Planta B se detallan en la Tabla 1

La arquitectura del sistema integra un controlador lógico programable Siemens S7-1200, responsable de la adquisición, supervisión y control de las principales variables del proceso, tales como el nivel del tanque, el caudal y la apertura de la válvula. En la entrada del sistema se dispone de un sensor de caudal y una válvula proporcional, encargada de regular el ingreso del fluido al tanque.

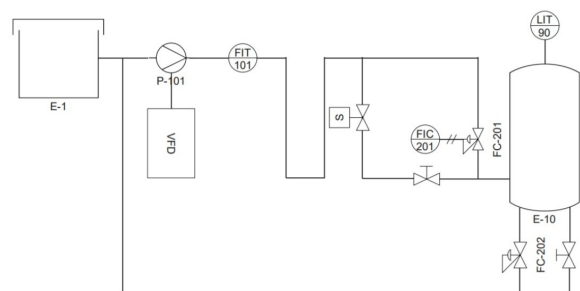
El tanque cuenta con dos sensores de nivel: un

**Tabla 1.** Especificación Técnica de Componentes e Instrumentación - Planta B

Componente	Modelo	Fabricante	Función en el Sistema
<b>Sistema de Control</b>			
PLC (Controlador Lógico)	S7-1200	Siemens	Procesamiento central de la lógica de control y comunicación.
<b>Instrumentación y Sensores</b>			
Caudalímetro Electromagnético	Promag W	Endress+Hauser	Medición precisa de caudal en fluidos conductivos.
Sensor de Nivel Capacitivo	Liquicap FMI51	Endress+Hauser	Medición continua analógica del nivel del tanque.
Interruptor de Nivel	Liquiphant T FTL20	Endress+Hauser	Detección de seguridad para nivel alto y bajo.
Sensor de Posición Remoto	Tipo 8798	Bürkert	Retroalimentación inductiva para la válvula de control.
<b>Actuadores y Regulación</b>			
Válvula Neumática 2/2 Vías	Tipo 2000	Bürkert	Control de paso de fluido (On/Off) por asiento inclinado.
Válvula de Control Proporcional	Tipo 2702	Bürkert	Regulación fina del flujo mediante variación de apertura.
Posicionador Digital	Tipo 8792	Bürkert	Control PID local y posicionamiento de la válvula neumática.
Bobina Solenoide	BB024DS	Danfoss	Accionamiento electromecánico para pilotaje de válvulas.
<b>Elementos Auxiliares</b>			
Unidad de Mantenimiento	LOE-D-MINI	Festo	Preparación de aire (Filtro/Regulador) para línea neumática.
Válvulas Manuales	N/A	Genérico	Habilitación de ingreso alternativo y purga (desfogue) del sistema.

*Nota: Datos correspondientes al inventario técnico de la Planta B.*

sensor ultrasónico y un sensor capacitivo. Para la implementación del sistema se emplea únicamente el sensor capacitivo, debido a su mayor velocidad de respuesta y precisión en la medición. A la salida del tanque se incorpora una válvula electroneumática destinada al desfogue del fluido, complementada por una válvula manual que permite la introducción de perturbaciones controladas para el análisis del comportamiento dinámico del sistema.

**Figura 1.** Diagrama P&ID de la Planta B.

A continuación, la Figura 1 presenta el diagrama de tuberías e instrumentación (P&ID) correspondiente a la Planta B, tal como se detalla en [11].

Adicionalmente, la arquitectura se complementa con plataformas de automatización y una base de datos relacional, en la cual se almacenan de forma estructurada las principales variables operativas del proceso, incluyendo el nivel del tanque, el caudal y la apertura de la válvula, facilitando su posterior análisis y

supervisión.

Los datos recopilados son registrados de manera inmediata con marca temporal (time-stamp), permitiendo el seguimiento histórico y el análisis del comportamiento del proceso. En adición, el sistema incorpora un asistente de inteligencia artificial con la capacidad de interactuar con el usuario mediante lenguaje natural, a través de un chat bot, facilitando la consulta de información, la supervisión del proceso y la modificación de parámetros de control de forma intuitiva y accesible.

Esta integración tiene como objetivo optimizar el monitoreo del proceso, permitiendo la consulta de variables del sistema, la modificación remota de parámetros de control y la visualización de información histórica y en tiempo real. Asimismo, el uso del asistente inteligente busca mejorar la accesibilidad y usabilidad del sistema, reduciendo la dependencia de interfaces técnicas tradicionales y facilitando la interacción entre el usuario y los equipos de control y monitoreo del laboratorio.

El proceso inicia en el usuario, quien interactúa con el sistema a través de la plataforma Telegram mediante chat de texto. Desde allí, puede enviar instrucciones sobre las variables de la planta B empleando lenguaje natural al agente de inteligencia artificial implementado en n8n, el cual opera sobre modelos de inteligencia artificial mediante modelos de lenguaje largos (LLM). Este agente analiza y clasifica cada solicitud según su propósito: consulta de datos específicos, modificación del set point del sistema o generación de gráficas relacionadas con el comportamiento de la planta.

Una vez identificada la intención, el agente gestiona el acceso a la base de datos, donde realiza actualizaciones o consultas conforme a la orden recibida. La información procesada se integra con la arquitectura de monitoreo mediante una plataforma de integración de hardware, manteniendo la comunicación en tiempo real entre el PLC y la base de datos en la nube.

El control físico de la planta B se lleva a cabo a través de un PLC Siemens S7-1200, el cual se encuentra programado en TIA Portal empleando lógica Ladder. Este dispositivo adquiere y envía datos operativos, además de regular el nivel de líquido mediante un esquema de control PID (proporcional-integral-derivativo), asegurando la estabilidad y el funcionamiento adecuado del sistema. Se puede observar en la Figura 2 la lógica de funcionamiento.

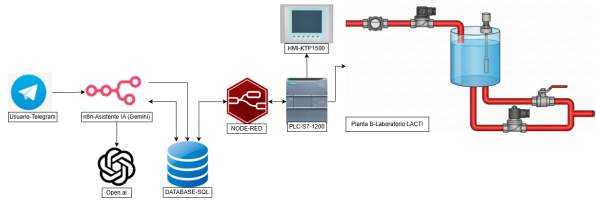


Figura 2. Diagrama de funcionamiento.

## 2.1. Modelado dinámico de la planta de nivel de agua

Para abordar el control de nivel de agua, es indispensable establecer un modelo matemático que describa la dinámica del fluido en el tanque. Basándose en la metodología presentada por Simmonds-Mendoza et al. en [12], el cual indica que el comportamiento del sistema se rige por el principio de conservación de masa, que establece que el cambio en el volumen del líquido almacenado es igual a la diferencia entre el flujo de entrada y el de salida.

La ecuación diferencial que describe la dinámica temporal del nivel del tanque se rige por:

$$C \frac{dh}{dt} = q_i(t) - q_o(t) \quad (1)$$

Donde  $C$  representa la capacitancia del tanque (equivalente a su área transversal),  $h$  es la altura de la columna de líquido,  $q_i$  es el caudal de entrada y  $q_o$  es el caudal de salida.

Para un sistema linealizado, la resistencia hidráulica  $R$  de la válvula de descarga relaciona la altura del nivel con el caudal de salida, tal como se detalla en [12]:

$$q_o(t) = \frac{h(t)}{R} \quad (2)$$

Sustituyendo la ecuación (2) en (1), se obtiene la ecuación diferencial de primer orden característica del proceso:

$$RC \frac{dh}{dt} + h(t) = Rq_i(t) \quad (3)$$

Aplicando la transformada de Laplace a la ecuación (3) y considerando condiciones iniciales nulas, se obtiene la función de transferencia general del proceso:

$$\frac{H(s)}{Q_i(s)} = \frac{R}{RCs + 1} = \frac{K}{\tau s + 1} \quad (4)$$

Donde  $\tau = RC$  es la constante de tiempo del sistema y  $K = R$  es la ganancia estática.

## 2.2. Consideraciones del modelo de la planta para la implementación del PID en el PLC

Si bien en los trabajos académicos revisados, como en [12], se suele realizar un modelado detallado de la

dinámica del sensor y de la válvula de control por separado, para propósitos de esta implementación práctica se ha optado por simplificar el modelo. Se pretende asumir que la velocidad de respuesta dinámica del sensor y de la válvula es insignificante con respecto a la evolución del nivel en el tanque para esta aplicación.

Matemáticamente, esto implica que las constantes de tiempo ( $\tau$ ) de estos componentes que son interpretadas como el tiempo en el que tardan en reaccionar y estabilizarse ante un cambio en la señal son prácticamente despreciables frente a la inercia que existe en el proceso hidráulico, cumpliéndose así la relación ( $\tau_{sensor}, \tau_{valvula} \ll \tau_{tanque}$ ).

Por lo tanto, para el ajuste del controlador dentro del entorno de programación del software del PLC, estos elementos se asumen como ganancias puras integradas dentro de la función de transferencia de la planta general. Esto facilita el uso de las herramientas de sintonización automática como el es de *fine tuning* del PLC, permitiendo que el algoritmo PID compense las pequeñas dinámicas no modeladas mediante la acción integral y derivativa.

### 2.3. Implementación y parametrización del modelo en la planta B

El sistema físico específico de esta investigación se centra en la planta B del laboratorio LACTI. El objetivo de control es mantener un nivel constante en un punto de consigna determinado por el usuario, manipulando el flujo de entrada frente a diversas perturbaciones, utilizando válvulas proporcionales y sensores de nivel.

Partiendo de la función de transferencia general deducida en la Ecuación (4), y considerando que para la geometría de este tanque la capacitancia hidráulica  $C$  es equivalente a su área transversal ( $A$ ), la dinámica del sistema descargado por gravedad se aproxima a un modelo de primer orden definido por:

$$G(s) = \frac{H(s)}{Q(s)} = \frac{K}{\tau s + 1} = \frac{R}{ARs + 1} \quad (5)$$

En dicha ecuación, los parámetros característicos del sistema vienen definidos por la geometría física de la planta:

- $\tau = A \cdot R$ : Constante de tiempo del sistema ( $s$ ), asumiendo  $C = A$ .
- $K = R$ : Ganancia estática del proceso ( $m/(m^3/s)$ ).
- $r = 0.28 \text{ m}$ : Radio del tanque.
- $H_{med} = 0.625 \text{ m}$ : Altura media del tanque utilizada para linealizar el modelo.
- $Q_{med} = 5.583 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}$ : Caudal medio para linealizar el modelo.

Es importante indicar que, aunque la estructura matemática del modelo es congruente con la deducción presentada en [13], la planta experimental utilizada en esta investigación posee dimensiones geométricas distintas. Por ello, los valores del área transversal ( $A$ ) y las restricciones del sistema ( $R$ ) han sido recalculados específicamente para este sistema:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot (0.28 \text{ m})^2 = 0.2463 \text{ m}^2 \quad (6)$$

$$R = \frac{H_{med}}{Q_{med}} = \frac{0.625 \text{ m}}{5.583 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s}} = 1119.469 \frac{m^2}{s} \quad (7)$$

Sustituyendo los valores de (6) y (7) en la ecuación característica (5), se obtiene el modelo numérico de la planta B:

$$G_p(s) = \frac{1119.469}{257.7s + 1} \quad (8)$$

### 2.4. Fundamentación del Algoritmo de Control PID

Para la estrategia de regulación del sistema en lazo cerrado, se selecciona un controlador PID (Proporcional-Integral-Derivativo). De acuerdo con la fundamentación presentada en [12], establecer este modelo de control permite minimizar el error entre la variable de proceso y el punto de consigna mediante tres acciones de control distintas.

La función de transferencia del controlador PID en el dominio de Laplace se define teóricamente mediante la ecuación:

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (9)$$

Donde  $K_p$ ,  $K_i$  y  $K_d$  representan las ganancias proporcional, integral y derivativa respectivamente.

Para su respectiva implementación y análisis temporal, es preferible expresar esta ley de control en función del tiempo y de las constantes de tiempo del controlador. Según se detalla en [12], la ecuación en el dominio del tiempo que relaciona la salida del controlador  $u(t)$  con la señal de error  $e(t)$  es:

$$u(t) = \bar{u} + K_p \left[ e(t) + \frac{1}{\tau_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + \tau_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (10)$$

En esta expresión:

- $K_p$ : Es la ganancia proporcional que determina la reacción al error actual.
- $\tau_i$ : Es el tiempo integral (o  $T_i$ ), que ajusta la acción integral para eliminar el error en estado estacionario.

- $\tau_d$ : Es el tiempo derivativo (o  $T_d$ ), que anticipa la tasa de cambio del error para mejorar la estabilidad.
- $\bar{u}$ : Consigna o valor de referencia.

Esta estructura teórica fundamenta la parametrización que se realiza posteriormente tanto en la simulación como en el PLC físico.

## 2.5. Sintonización y Resultados Experimentales

A partir de este modelo lineal aproximado (Ecuación (8)), obtenido mediante los parámetros físicos reales, se procedió con el diseño y ajuste del controlador PID. En el entorno de simulación MATLAB, mediante técnicas de ajuste y evaluación de desempeño dinámico, a través del código adjunto en anexos (Código 1), a partir de dicho análisis se obtuvieron los siguientes parámetros iniciales para el controlador:

- $P = 49$  (Ganancia proporcional)
- $I = 10.75$  (Ganancia integral)
- $D = 2.33 \times 10^{-4}$  (Ganancia derivativa)

Al mismo tiempo, se calcularon las constantes de tiempo del controlador para su posterior aplicación en el PLC:

- $K_p = 49$  (Ganancia proporcional)
- $T_i = 4.5581$  s (Tiempo integral)
- $T_d = 4.7551 \times 10^{-5}$  s (Tiempo derivativo)

La simulación con estos valores demostró un buen rendimiento dinámico, sirviendo como referencia teórica para la implementación práctica. Posteriormente, con ayuda del software TIA PORTAL y su herramienta de *fine tuning* del bloque PID Compact, se ajustaron los parámetros considerando las características reales de la planta y efectos no modelados teóricamente, como se sugiere en [14]. Como resultado, se logró estabilizar el sistema implementando los siguientes valores finales en el PLC:

- $K_p = 50.7598$  (Ganancia proporcional)
- $T_i = 4.5422$  s (Tiempo integral)
- $T_d = 1.1526$  s (Tiempo derivativo)

Al realizar pruebas experimentales implementando los parámetros obtenidos mediante el algoritmo de sintonización automática (*tuning*) del software de programación TIA Portal, se pudo observar un desempeño dinámico superior en comparación con los valores teóricos encontrados en la simulación. Al comparar estos resultados, quedo en evidencia que la ganancia proporcional ( $K_p$ ) y el tiempo integral ( $T_i$ ) mantienen

una aproximación razonable al cálculo matemático; por otra parte, el tiempo derivativo ( $T_d$ ) presenta una diferencia considerable.

Esta discrepancia se puede justificar debido al modelo teórico desarrollado, ya que fue netamente idealizado para su análisis, despreciando así las dinámicas y retardos intrínsecos que existen dentro de la válvula de control y del sensor de nivel. Dado que el algoritmo de *fine tuning* compensa estas no linealidades físicas y retardos que no fueron contemplados en un inicio en la ecuación de transferencia simplificada, se optó por validar y establecer estos últimos valores como los definitivos para el control de nivel del sistema.

## 2.6. Control, monitoreo y base de datos.

La variable principal a monitorear es el nivel del tanque, el cual se mide en tiempo real mediante un sensor de nivel. El sistema cuenta con una válvula proporcional en la línea de ingreso, cuya apertura permite regular el caudal de entrada, y con un caudalímetro que posibilita el seguimiento continuo del comportamiento del proceso. En la salida del tanque se dispone de una electroválvula destinada al desfogue del sistema, complementada por una válvula manual que permite la introducción de perturbaciones controladas. Para el control del nivel se implementó un controlador PID, el cual permite mantener la variable en torno al punto de consigna establecido, incluso ante la presencia de perturbaciones externas.

Los parámetros registrados en la base de datos corresponden al caudal, el nivel del tanque, la apertura de la válvula proporcional y el valor del set point, todos ellos almacenados con su respectiva marca temporal, es decir, fecha y hora de adquisición. El PLC es el encargado de la recopilación de estas variables y, mediante una conexión Profinet, los datos son transmitidos hacia la plataforma Node-RED, la cual se integra al sistema como una capa intermedia de comunicación. Node-RED accede a las variables del PLC a través de nodos compatibles con protocolos industriales, permitiendo estructurar, gestionar y enviar la información de forma segura y organizada hacia la base de datos para su posterior análisis y visualización.

Tras la adquisición de las variables de proceso, el PLC Siemens S7-1200 actúa como el nodo central de control y recopilación de datos del sistema. Para habilitar la integración con plataformas externas y servicios de monitoreo, el PLC establece comunicación con Node-RED tal como se observa en la figura 3, Node-RED es una herramienta de programación basada en flujos orientada a la interconexión de dispositivos industriales, servicios web y bases de datos mediante interfaces gráficas y protocolos estandarizados [15]. Este entorno permite orquestar el intercambio de información entre diferentes componentes del sistema de forma flexible y escalable, facilitando la interoper-

abilidad entre tecnologías heterogéneas ampliamente utilizadas en aplicaciones de automatización industrial.

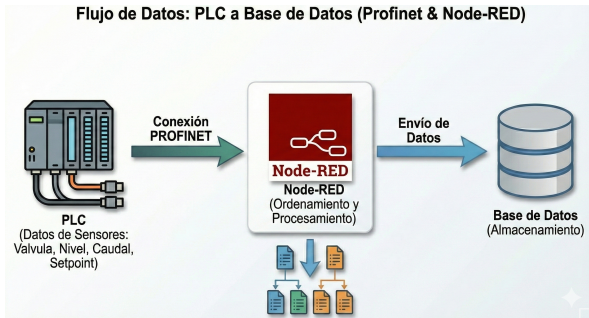


Figura 3. Flujo de datos.

**Algoritmo 1** Algoritmo de flujo de datos entre PLC y Node-RED

**Entrada:** Orden del usuario y señales del PLC

**Salida:** Modificación en BD o Visualización de datos

**Result:** Sincronización de datos PLC, Base de Datos y Usuario

Inicialización de conexiones (PLC, Node-RED, SQL)

**while** Sistema activo **do**

```
// Adquisición continua de datos (Fondo)
Lectura de variables desde el PLC Envío de datos
a Base de Datos mediante Node-RED
if Recepción de orden del usuario then
  Determinar tipo de solicitud
  if Solicitud = Modificación de Set Point then
    // Flujo de Escritura
    Generar orden en Node-RED Modificar
    valor directamente en Base de Datos if
    Confirmación de escritura exitosa then
      | Notificar actualización al sistema
    end
  else
    if Solicitud = Consulta de Datos then
      // Flujo de Lectura
      Solicitud procesada Lectura de registros
      desde Base de Datos Envío de datos
      al usuario
    else
      | Esperar nueva instrucción
    end
  end
end
end
```

En esta arquitectura, Node-RED cumple el rol de intermediario entre el PLC y la base de datos SQL. A través de este entorno, los datos provenientes del proceso son estructurados, clasificados y almacenados de manera organizada, garantizando su disponibilidad

para consultas posteriores y análisis bajo demanda del usuario. Este enfoque desacopla la capa de control de la capa de almacenamiento, mejorando la modularidad, la mantenibilidad y la escalabilidad del sistema [16].

Adicionalmente, Node-RED cumple la función de intermediario para la modificación de los parámetros de operación del sistema. En particular, los cambios en el valor del set point solicitados por el usuario son gestionados por Node-RED y transmitidos hacia el PLC a través de una conexión Ethernet industrial basada en el protocolo Profinet, lo que garantiza una comunicación confiable, segura y con capacidad de operación en tiempo real [17]. De este modo, el sistema no solo habilita la supervisión remota del proceso, sino que también permite una intervención controlada sobre la planta.

## 2.7. Monitoréo del Sistema Mediante el Agente de Inteligencia Artificial

El agente de inteligencia artificial se encuentra implementado sobre la plataforma n8n, una herramienta de automatización de flujos de trabajo de código abierto orientada a la integración de servicios, APIs y diversos sistemas mediante arquitecturas basadas en eventos. Esta plataforma permite diseñar y ejecutar flujos de automatización a través de nodos lógicos interconectados, donde cada nodo representa una operación específica, como la comunicación con servicios externos, el acceso a bases de datos o el procesamiento de información.

Se puede destacar que n8n se caracteriza por su enfoque modular y flexible, lo que facilita la implementación de procesos complejos sin requerir un acoplamiento directo entre los distintos componentes del sistema, n8n permite un mayor nivel de personalización, control sobre la lógica interna de los flujos y despliegue en infraestructuras locales, aspectos especialmente relevantes en aplicaciones industriales donde la seguridad, la latencia y el control de los datos son factores críticos.

Dentro de la arquitectura propuesta, n8n actúa como la capa de procesamiento lógico encargada de coordinar la interacción entre el usuario, el motor de inteligencia artificial, las plataformas de comunicación y los sistemas de almacenamiento de datos. En particular, la plataforma integra un motor de inteligencia artificial basado en modelos de OpenAI, el cual es utilizado para el procesamiento de lenguaje natural y la interpretación de las solicitudes realizadas por el usuario. Esta integración permite traducir las órdenes expresadas en lenguaje natural en acciones estructuradas que pueden ser ejecutadas por el sistema de monitoreo y control.

Gracias a su capacidad para gestionar eventos, ejecutar flujos condicionales y comunicarse con múltiples servicios de forma simultánea, n8n constituye un componente clave dentro del sistema propuesto,

permitiendo una interacción eficiente entre el agente inteligente y los distintos elementos de la arquitectura sin comprometer la escalabilidad ni la mantenibilidad del sistema [18].

El sistema adopta una arquitectura multiagente el cual se visualiza en la Figura 4. Se puede visualizar la interacción entre el usuario, la plataforma y la base de datos en la Figura 4, en la cual un agente principal cumple la función de punto de entrada para todas las solicitudes del usuario. Este agente es responsable de interpretar las peticiones expresadas en lenguaje natural y someterlas a un proceso inicial de codificación semántica y clasificación de la intención. En función del tipo de requerimiento identificado, el agente principal redirige la solicitud hacia agentes especializados encargados de ejecutar acciones específicas dentro del sistema, tales como la consulta de variables del proceso, la modificación de parámetros de control como el set point o la generación de información estructurada en forma de tablas o reportes asociados a un intervalo temporal determinado [19].

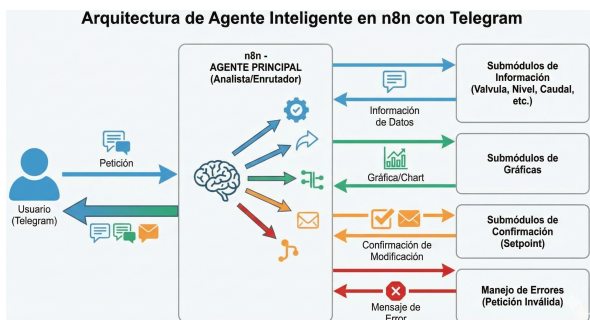


Figura 4. Estructura multiagente.

Cada agente especializado opera de manera independiente y está diseñado para interactuar con los distintos componentes de la arquitectura, incluyendo la base de datos, los servicios de monitoreo y las plataformas de comunicación con el sistema de control. Esta separación funcional permite distribuir la carga de procesamiento, reducir la complejidad de cada módulo y mejorar la escalabilidad del sistema, facilitando además la incorporación de nuevas funcionalidades sin afectar el comportamiento global del agente principal.

Cada agente se encarga de consolidar la información obtenida y decodificarla nuevamente en lenguaje natural. Actuando también como módulo de generación de respuestas, proporcionando al usuario una salida clara, comprensible y contextualizada, ya sea en forma de confirmación de ejecución, valores específicos de las variables del proceso o información estructurada derivada del análisis de los datos.

Este enfoque basado en arquitecturas multiagente y flujos automatizados no solo mejora la accesibilidad al sistema de monitoreo, sino que además opti-

miza la gestión de las solicitudes del usuario, reduce la carga operativa y minimiza errores asociados a la interpretación manual de la información, consolidando un modelo de supervisión más flexible, escalable y orientado al usuario final.

---

**Algoritmo 2** Algoritmo de supervisión inteligente basado en arquitectura multiagente

---

**Entrada:** Solicitud del usuario en lenguaje natural  
**Salida:** Respuesta del sistema y/o acción ejecutada en la planta

**Result:** Supervisión, control y visualización de variables del proceso

Inicialización del sistema multiagente Inicialización de la comunicación PLC–Node-RED–Base de Datos

**while** *Sistema activo* **do**

Recepción de solicitud del usuario mediante Telegram Codificación semántica de la solicitud Clasificación de la intención por el agente principal

**if** *Solicitud = Consulta de datos* **then**

Agente de consulta accede a la base de datos  
 Recuperación de variables solicitadas Formato de datos para visualización o tablas

**else**

**if** *Solicitud = Modificación de set point* **then**  
 Validación de parámetros solicitados Envío del nuevo set point al PLC vía Node-RED  
 Confirmación de ejecución del control PID

**else**

Generación de reportes o información estructurada

**end**

**end**

Decodificación del resultado en lenguaje natural  
 Envío de respuesta al usuario

**end**

---

El usuario realiza sus solicitudes al agente a través de la plataforma Telegram, empleando un lenguaje natural y cotidiano. Estas solicitudes son procesadas internamente por el agente de inteligencia artificial, el cual se encarga de interpretar la intención del usuario, clasificar la orden recibida y establecer la conexión correspondiente con la base de datos o los módulos de control del sistema.

Como resultado de este procesamiento, el agente genera una respuesta acorde a la solicitud realizada, la cual puede consistir en la entrega de información del proceso como el nivel del tanque, el caudal de entrada o el grado de apertura de la válvula, la visualización de la gráfica del nivel, o bien un mensaje de confirmación cuando se efectúa la modificación del set point o punto de consigna con el fin de estabilizar el nivel del tanque.

Se puede visualizar la interacción entre el usuario, la plataforma y la base de datos en la Figura 5.

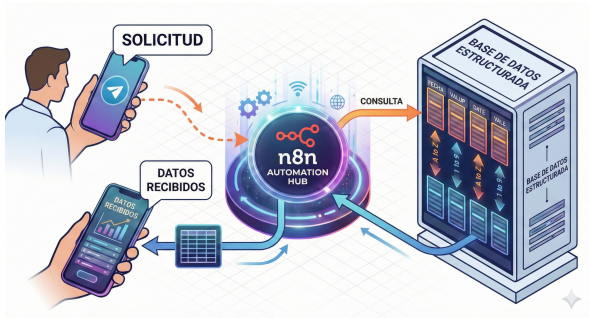


Figura 5. Interacción usuario-sistema.

## 2.8. Representación y Análisis Visual de la Información del Sistema

Con el fin de mejorar la experiencia del usuario, las variables principales del proceso, el nivel del tanque y set point, se visualizan de manera gráfica a través de una interfaz hombre-máquina (HMI). Esta representación permite una supervisión directa e intuitiva del estado de la planta, facilitando la interpretación de la información operativa en tiempo real. Como se puede observar a continuación en la Figura 6

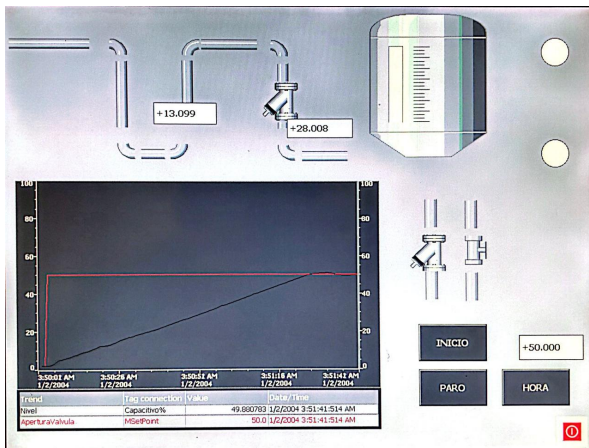


Figura 6. Visualización HMI.

De forma complementaria, el sistema permite el acceso a la base de datos desde un ordenador, donde es posible consultar los valores que se van registrando de manera continua. No obstante, este tipo de acceso está orientado principalmente a usuarios con conocimientos técnicos, dado que implica la interacción directa con herramientas de gestión de datos.

Para el usuario sin formación técnica, la interacción con el sistema se simplifica mediante dos mecanismos principales: la visualización en el HMI y el uso de la plataforma Telegram. A través de esta aplicación, el usuario puede enviar solicitudes de acción al sistema y recibir las respuestas generadas por el agente de

inteligencia artificial, ya sea en forma de confirmaciones de ejecución, valores específicos de las variables del proceso o información estructurada en tablas. De este modo, el acceso a los datos y la supervisión del sistema se realizan de manera sencilla, clara y accesible, sin necesidad de interactuar directamente con los componentes técnicos de la arquitectura.

## 3. Resultados y Discusión

El proceso de refinamiento continuo, basado en pruebas funcionales y validación de datos, permitió corregir ambigüedades tanto en el módulo principal como en los módulos secundarios del sistema. Como resultado, se alcanzó un desempeño estable y confiable, con un nivel de error prácticamente nulo en la interpretación y ejecución de las órdenes, lo que evidencia la robustez y efectividad de la arquitectura propuesta.

Como se observa en la Figura 7, el asistente informa al usuario sobre las variables y acciones disponibles para realizar consultas dentro del sistema.

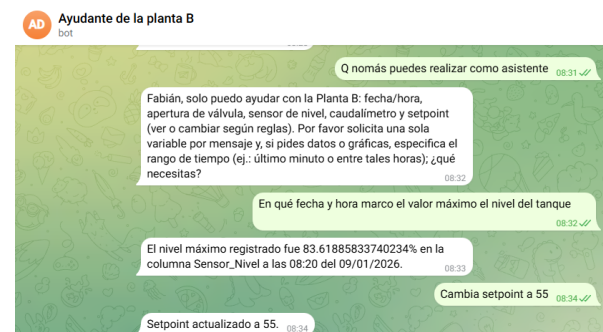


Figura 7. Pruebas Asistente.

Además, el asistente indica que, en caso de no especificarse un intervalo temporal, se reportan automáticamente el valor máximo y el valor mínimo de la variable solicitada. Asimismo, cuando la consulta no es interpretada de manera clara, el sistema genera un mensaje correctivo orientado a guiar al usuario en la formulación adecuada de la solicitud, tal como se muestra en la Figura 8.

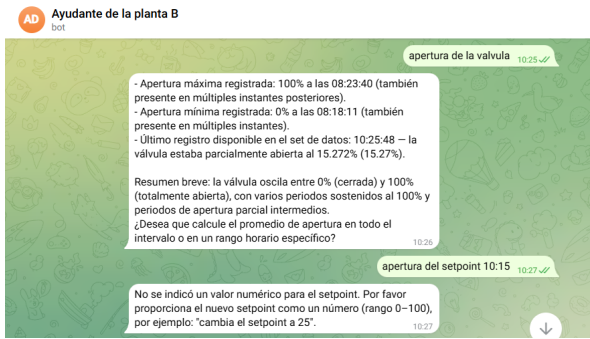


Figura 8. Pruebas Asistente.

Se pueden observar otros ejemplos de consultas realizadas por los usuarios y las respuestas generadas por el agente en las Figuras 9 y 10.

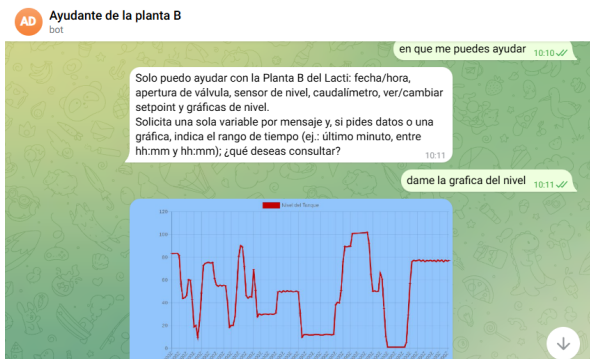


Figura 9. Pruebas Asistente.

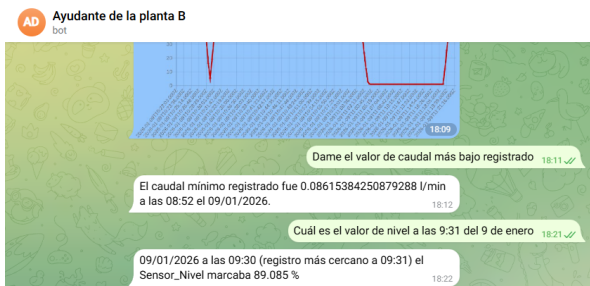


Figura 10. Pruebas Asistente.

Para evaluar el nivel de aceptación del agente de monitoreo, se realizó una encuesta compuesta por cinco preguntas dirigida a 34 usuarios, tanto con conocimientos técnicos como sin ellos. Previamente, se proporcionó a los participantes una explicación general sobre el funcionamiento y los objetivos del proyecto, tras lo cual se les permitió interactuar con el agente de manera intuitiva, formulando solicitudes según su propio criterio.

Las preguntas fueron evaluadas mediante una escala tipo Likert de 1 a 5, donde 1 corresponde a *total-*

*mente en desacuerdo*” y 5 a *totalmente de acuerdo*”. Estas se enfocaron en analizar la percepción de los usuarios frente al agente de monitoreo, considerando la claridad y precisión de las respuestas, la comprensión del lenguaje natural, la facilidad de uso sin requerir conocimientos técnicos previos y el potencial percibido del sistema.

Las preguntas planteadas fueron las siguientes:

- El sistema fue fácil de usar y entender desde el primer intento.
- Las respuestas del sistema fueron claras y acordes a lo solicitado.
- Fue posible expresar las solicitudes de manera natural, sin necesidad de emplear comandos técnicos.
- El sistema resulta intuitivo para personas sin conocimientos técnicos.
- Utilizaría este sistema como una herramienta habitual para monitorear o consultar información del proceso.

Adicionalmente, se incluyó una pregunta abierta orientada a la mejora del sistema: *¿Qué mejoraría o qué aspecto le resultó menos claro del sistema?*

Tabla 2. Resultados porcentuales de la encuesta de satisfacción (n = 34).

Pregunta	1 (%)	2 (%)	3 (%)	4 (%)	5 (%)
Facilidad de uso del sistema	5.88	0.00	23.53	20.59	50.00
Claridad de las respuestas del sistema	2.94	2.94	26.47	26.47	41.18
Expresión natural de solicitudes	5.88	0.00	29.41	17.65	47.06
Intuición para usuarios no técnicos	5.88	11.76	23.53	20.59	38.24
Uso habitual del sistema	2.94	2.94	23.53	20.59	50.00

## 4. Conclusiones

El proyecto demuestra que la integración de un protocolo de comunicación con inteligencia artificial y una arquitectura multiagente genera una solución efectiva para el monitoreo y control de sistemas industriales. El sistema desarrollado permite interpretar solicitudes en lenguaje natural y traducirlas en acciones concretas sobre el proceso, superando las limitaciones de los enfoques tradicionales basados en interfaces rígidas.

El sistema de control, se logró implementar de manera satisfactoria un controlador PID aplicado al control de nivel del tanque. A partir del cálculo de los parámetros del controlador y del uso de herramientas propias del entorno de desarrollo, como el PID Tuner, se obtuvo un desempeño adecuado del lazo de control sobre la variable de nivel. El sistema demostró una respuesta eficaz frente a la introducción de perturbaciones, alcanzando el régimen permanente con un

tiempo de asentamiento inferior a 2 segundos. Estos resultados permiten afirmar que el sistema de control implementado cumple de forma efectiva con los objetivos de regulación planteados.

La arquitectura modular implementada sobre la plataforma n8n evidenció ventajas significativas en términos de escalabilidad, adaptabilidad y mantenibilidad del sistema. La separación funcional entre el agente principal y los agentes especializados permitió una distribución eficiente de las tareas, reduciendo la carga computacional y mejorando la organización interna de la arquitectura. Este enfoque facilitó, además, la incorporación de nuevas funcionalidades sin comprometer la estabilidad ni la estructura global del sistema. En cuanto al motor de inteligencia artificial, el modelo OpenAI 5 Mini resultó ser la opción más adecuada para la aplicación propuesta. Su selección respondió a un equilibrio favorable entre precisión en la interpretación de las solicitudes del usuario, tiempo de respuesta y consumo de recursos computacionales. Modelos de menor complejidad presentaron mayores tiempos de respuesta y una mayor incidencia de errores en la comprensión de las instrucciones, mientras que versiones más avanzadas, aunque ofrecieron respuestas más rápidas, implicaron un consumo de tokens significativamente mayor, sin aportar mejoras proporcionales en el desempeño del sistema. En este contexto, OpenAI 5 Mini se consolidó como la alternativa óptima para el entorno de monitoreo implementado. Los resultados obtenidos confirman que la interacción asistida por agentes IA mejora la accesibilidad del sistema de monitoreo, brindando la posibilidad a usuarios sin conocimientos técnicos de supervisar y consultar el estado del proceso de forma intuitiva y eficiente.

El análisis de la percepción de los usuarios frente al agente de monitoreo mediante IA revela una alta aceptación operativa y funcional; en lo referente a la facilidad de uso, se evidencia una curva de aprendizaje mínima, dado que el 70,6% de la muestra validó positivamente la interacción inicial, destacando un 50% de usuarios totalmente satisfechos y una ausencia total de fricción intermedia. Respecto a la claridad y precisión de la IA, el 67,7% de los encuestados considera que las respuestas son acordes a lo solicitado, aunque la presencia de un 26,5% de valoraciones neutrales sugiere la necesidad de ajustar la especificidad contextual del modelo. En cuanto al procesamiento de lenguaje natural, si bien el 64,7% logró interactuar sin recurrir a comandos técnicos, el segmento neutral del 29,4% indica que la interpretación de solicitudes coloquiales requiere refinamiento para garantizar una fluidez total. Sobre la accesibilidad para usuarios no técnicos, se detectó la principal área de oportunidad, pues aunque la mayoría considera el sistema intuitivo, un 17,7% manifestó dificultades, lo que subraya la importancia de fortalecer los mecanismos de asistencia y onboarding. En términos de potencial de adopción, la

herramienta demuestra una sólida viabilidad de mercado, confirmada por el 70,6% de los participantes que expresaron su disposición a integrar el sistema como una herramienta habitual en sus labores de monitoreo. En conjunto, el sistema propuesto cumple con los objetivos planteados y sienta las bases para futuras extensiones orientadas a la incorporación de capacidades predictivas y toma de decisiones más avanzadas, consolidando un enfoque flexible y alineado con las tendencias actuales de la automatización industrial.

## Recomendaciones.

La mayoría de las recomendaciones emitidas por los usuarios se orientan a la mejora del tiempo de respuesta del agente de inteligencia artificial. Dicho tiempo depende tanto de la calidad de la conexión a internet como del motor de inteligencia artificial empleado. Con el objetivo de optimizar el uso de tokens y reducir el consumo de recursos computacionales, se implementaron restricciones en el procesamiento, lo que en algunos casos incrementó ligeramente la latencia de respuesta.

Otro aspecto señalado como susceptible de mejora corresponde a la interacción con el agente. En este sentido, varios usuarios propusieron el desarrollo de una interfaz gráfica dedicada que facilite el uso del sistema y mejore la experiencia de interacción, especialmente para usuarios con menor conocimiento técnico. Asimismo, se sugirió la incorporación de memoria conversacional que permita al agente recordar interacciones previas. No obstante, esta funcionalidad se encuentra limitada en la implementación actual, ya que el agente principal opera sin memoria persistente para garantizar la consistencia y actualidad de la información procesada.

Por otra parte, el 70,6% de los usuarios manifestó satisfacción con la implementación del sistema, particularmente aquellos con mayor formación técnica, quienes destacaron la utilidad del enfoque propuesto y la facilidad para acceder a información relevante del proceso de manera rápida y flexible.

El sistema desarrollado corresponde a una versión inicial con un alto potencial de mejora y expansión funcional. En la implementación actual, su uso se limita principalmente a tareas de monitoreo; sin embargo, la arquitectura propuesta permite evolucionar hacia un agente supervisor inteligente. En este contexto, el sistema podría analizar de forma continua el comportamiento de las variables del proceso, detectar anomalías en tiempo real y ejecutar acciones correctivas automáticas para mitigar desviaciones operativas. Asimismo, ante la identificación de cambios significativos o condiciones anómalas que comprometan la operación normal del sistema, el agente sería capaz de generar alertas oportunas dirigidas al usuario, fort-

aleciendo así la seguridad, confiabilidad y autonomía del proceso de supervisión.

## Agradecimientos

Se dice que somos una construcción de quienes nos rodean. Agradecemos profundamente a quienes han sido piezas clave en nuestra formación personal y profesional.

## Referencias

- [1] R. Kumar and P. Singh, “Industrial monitoring systems: Trends and challenges,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 45 678–45 690, 2022.
- [2] W. Yan *et al.*, “A review of real-time fault diagnosis methods for industrial smart manufacturing,” *Processes*, vol. 11, no. 2, p. 369, jan 2023.
- [3] J. Silva and M. Torres, “Scada systems and their role in modern industrial automation,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 23, p. 100200, 2021.
- [4] F. Liu and H. Zuo, “Research on industrial equipment status monitoring system based on iiot and node-red,” in *J. Phys.: Conf. Ser.*, vol. 2267, no. 1. IOP Publishing, jun 2022, p. 012015.
- [5] J. Lee and B. Bagheri, “Industrial internet of things: Foundations and applications,” *Computers in Industry*, vol. 123, p. 103302, 2021.
- [6] Z. Jan *et al.*, “Artificial intelligence for industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 216, p. 119456, apr 2023.
- [7] H. Hassani, E. S. Silva, S. Unger, M. TajMazinani, and S. Mac Feely, “Artificial intelligence (ai) or intelligence augmentation (ia): What is the future?” *AI*, vol. 1, no. 2, pp. 143–155, 2024, discusses the limitations of current data processing and human dependency.
- [8] Y. Zhang and X. Chen, “Security and privacy issues in industrial iot,” *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, no. 4, pp. 2451–2462, 2022.
- [9] I. Goodfellow, Y. Bengio, and A. Courville, *Deep Learning*. MIT Press, 2016.
- [10] D. Li, Y. Wang, J. Wang, C. Wang, and T. Yigitcanlar, “Intelligent agents in industrial internet of things: A comprehensive review on applications, challenges, and future trends,” *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 11, no. 4, pp. 5621–5645, 2024.

- [11] J. A. Aguilar Gavilanes and F. E. Villavicencio Ramos, “Implementación de un sistema de monitoreo para el control de la planta b del laboratorio lacti de la universidad politécnica salesiana – ups sede cuenca a través de servicios en la nube,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2021, accedido: 2024. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21358>
- [12] A. Simmonds-Mendoza, N. Cabrera-Londoño, N. Berdugo-Barandica, J. Roldán-Mckinley, and E. Yime-Rodríguez, “Implementación de control pid de nivel en laboratorio usando plc siemens s7-300,” *Revista UIS Ingenierías*, vol. 17, no. 2, pp. 159–178, 2018.
- [13] Universidad del Azuay, “Modelado y control de sistemas de nivel,” Master’s thesis, Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador, 2015, accedido: 2024. [Online]. Available: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/217/1/07271.pdf>
- [14] Universidad Politécnica Salesiana, “Implementación de controladores pid en tia portal,” Master’s thesis, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2020, accedido: 2024. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22829/1/UPS-GT003845.pdf>
- [15] M. Blackstock and R. Lea, “Toward a distributed data flow platform for the web of things,” *IEEE Internet Computing*, vol. 22, no. 1, pp. 58–67, 2018.
- [16] A. Fernandez and J. Gomez, “Industrial data management using relational databases,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 24, p. 100223, 2021.
- [17] A. Mahmood and I. Khan, “Opc ua based communication in industrial automation systems,” *IEEE Access*, vol. 8, pp. 138 700–138 710, 2020.
- [18] n8n GmbH, “n8n workflow automation platform,” 2023, available online.
- [19] OpenAI, “Gpt-4 technical report,” *arXiv preprint arXiv:2303.08774*, 2023.

## Anexos

```

1 %% Diseño de PID para la planta B del LACTI
2 % Version: 2025-12-15 | Actualizado: 2026-01-09
3 % Autores: Est. Pablo Chuquirá, Est. Fabian
  %   Urgiles
4
5 %% Limpia Command Window y Workspace
6 clc; clear all;
7
8 %% Parametros
9 Hmax = 1.25;           % Altura del tanque (m)
10 Qmax = 0.00111666;   % Caudal maximo (m3/s)

```

```

11 Hmed = Hmax*0.7;           % Altura media (
    linealizacion)
12 Qmed = Qmax*0.7;         % Caudal medio (
    linealizacion)
13 r = 0.28;                % Radio del tanque (m)
14
15 C = pi*r^2;              % Area transversal (m2)
16 R = Hmed/Qmed;          % Restriccion (s/m2)
17
18 %% Funcion de transferencia
19 num = [R];               % Numerador
20 den = [R*C 1];           % Denominador
21 Gp = tf(num,den)         % Funcion de planta
22
23 %% Analisis de respuesta
24 figure(1); step(Gp); % Respuesta escalon lazo
    abierto
25 figure(2); rlocus(Gp); % Lugar de las raices
26
27 %% Calculo de PID
28 ess = 0.02;              % Error estado estable
29 Kp = 1/ess - 1;          % Ganancia Kp
30 Kd = 0.00233;           % Ganancia Kd
31 Ki = 10.75;              % Ganancia Ki
32
33 s = tf('s');
34 Gc = Kp + s*Kd + Ki;    % Controlador PID
35
36 figure(3);
37 Tc = feedback(Gc*Gp,1); % Lazo cerrado
38 step(Tc); hold on;
39
40 %% Valores para TIA PORTAL
41 Ti = Kp/Ki               % Tiempo integral
42 Td = Kd/Kp               % Tiempo derivativo
43 K = Kp                   % Ganancia proporcional

```

**Código 1.** Código Simplificado del Diseño del Controlador PID en MATLAB.