

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSTRUMENTACIÓN DE BAJO COSTO PARA
LA ADQUISICIÓN DE DATOS DE UN SISTEMA HIDRÁULICO****DESIGN OF A LOW COST INSTRUMENTATION SYSTEM FOR DATA
ACQUISITION FROM A HYDRAULIC SYSTEM**

Mauricio Rozo Ortega*, **Pedro José Acevedo Prada****, **Jhon Jairo Ramírez Mateus*****,
Francisco Ernesto Moreno García****, **Karla Cecilia Puerto López *******;
Karla Yohana Sanchez-Mojica*****

*Ingeniero Electrónico,
mauricio@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander,
ORCID: 0000-0001-8954-4589, Cúcuta-Colombia.

** Ingeniero Electrónico,
pedrojoseap@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander,
ORCID: 0000-0002-7649-1913, Cúcuta-Colombia.

*** Ingeniero Electrónico,
jhonjairorm@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander,
ORCID: 0000-0002-4387-6147, Cúcuta-Colombia.

****Dr. Ingeniero Electrónico,
femgarcia@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander,
ORCID: 0000-0002-5227-1238, Cúcuta-Colombia.

*****Msc. Ingeniero Electrónico,
karlaceciliapl@ufps.edu.co, Universidad Francisco de Paula Santander,
ORCID: 0000-0003-3749-676X, Cúcuta-Colombia.

***** Ingeniero Telecomunicaciones,
investigaciones@fesc.edu.co, Fundación de Estudios Superiores Comfanorte FESC,
ORCID: 0000-0003-3164-4725, Cúcuta-Colombia

Resumen: La adquisición de datos es crucial cuando se quiere saber el modelo matemático de un sistema o llevar un seguimiento a variables de una planta. Hoy en día existen aplicaciones que llevan a cabo ésta tarea y permiten programar interfaces como lo son Matlab y LabView, pero demanda un alto costo de uso. Este artículo presenta un diseño de un sistema de instrumentación basado en Raspberry Pi 3B+ y Python, con el objetivo de realizar la adquisición de datos de un sistema hidráulico. La metodología desarrollada consistió en realizar la descripción de la planta, haciendo énfasis en los elementos electrónicos seguido de una estructura propuesta para el sistema de instrumentación. Posterior a esto se presentan los resultados detallando las etapas del sistema de instrumentación desarrollado y prueba del sistema frente a un escenario de funcionamiento de la planta. Es de apreciar el apoyo que puede dar el uso de herramientas tecnológicas frente a necesidades que se presenta en el ámbito industrial. El sistema desarrollado permitió ver la proximidad que presentan el modelo analítico de la planta y su respuesta experimental con un 12.3% aproximado de error relativo. Los diferentes algoritmos desarrollados en combinación con su estructura, conceden al sistema compatibilidad con otros, permitiendo futuros estudios a nivel de control y optimización embebida.

Palabras clave: Interfaz gráfica, Python, Raspberry Pi, Sistema hidráulico, Sistema de instrumentación.

Abstract: The data acquisition is crucial when you want to know the mathematical model of a system or keep track of variables in a plant. Today there are applications that carry out this task and allow programming interfaces such as Matlab and LabView, but it demands a high cost of use. This article presents a design of an instrumentation system based on Raspberry Pi 3B + and Python, with the objective of acquiring data from a hydraulic system. The methodology developed consisted of making a description of the plant, emphasizing the electronic elements followed by a proposed structure for the instrumentation system. After this, the results are presented detailing the stages of the instrumentation system developed and testing the system against a plant operation scenario. It is appreciated the support that the use of technological tools can give in the face of needs that arise in the industrial field. The developed system allowed to see the proximity of the analytical model of the plant and its experimental response with an approximate 12.3% relative error. The different algorithms developed in combination with its structure, grant the system compatibility with others, allowing future studies at the level of control and embedded optimization.

Keywords Graphical interface, Python, Raspberry Pi, Hydraulic system, Instrumentation system.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas hidráulicos son uno de los más conocidos a nivel industrial, en donde se hace presente el control de flujo y el nivel de líquidos en reservorios ya sea de tipo horizontal o vertical. En este tipo de sistemas es importante conocer la diferencia de nivel ante variación de caudales o perturbaciones (Leonardo et al., 2010), utilizando transductores como los caudalímetros y ultrasónicos respectivamente (Robayo et al., 2015). Dichos transductores son la base prioritaria para sustentar un sistema de instrumentación cuyo propósito es el medir, controlar, o adquirir información del sistema (Adam J, 2020), de tal manera, este tipo de tecnología en los procesos industriales, es un elemento importante para la optimización de mano de obra y recursos adaptándose así a las exigencias actuales.

Por otro lado, el uso de software libre en ordenadores de placa reducida viene tomando tendencia en los últimos años (Castro et al., 2016), ya que presta ventajas en compatibilidad entre sistemas y flexibilidad en la construcción de algoritmos (Rojas Pérez, 2015; Srinath, 2017), y llevado a los sistemas de instrumentación impulsa la automatización más eficiente en la industria (Basantes Montero et al., 2019). En el siguiente documento se presenta el diseño electrónico de instrumentación y adquisición embebida para un sistema hidráulico, basado en el empleo de un ordenador de placa reducida Raspberry Pi 3B+ in circuit y una herramienta de software diseñada en

Python sobre plataforma Raspbian. Este mismo consta de una interfaz gráfica en la que se muestran las señales adquiridas de las variables de interés y permite controlar la adquisición de datos.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de este trabajo se inició partiendo de un estado del arte centrado a sistemas tipo hidráulico con sus referidos desarrollos electrónicos. Seguidamente, se diseñó la estructura del sistema de instrumentación según las características de la planta y se seleccionaron las herramientas de hardware encargadas del acondicionamiento y conversión de las señales para así hacer la adquisición, con sus debidos algoritmos para adquisición, almacenamiento y visualización de las señales de interés.

A. Estado del Arte

Como idea central se indago en investigaciones relacionadas con instrumentación empleando herramientas tecnológicas alternativas de libre acceso. Castro (Castro et al., 2016), plantean el uso de tecnologías de acceso libre como una alternativa de solución a problemas de procesos industriales, ya que evita invertir recursos económicos en licencias y de la mano de una Raspberry Pi, un sistema embebido de plataforma independiente puede desarrollar tareas como la supervisión, control y adquisición de datos, en un entorno industrial. Por lo anterior, se propone el uso de la Raspberry Pi 3B+ como punto final de sistema de

instrumentación. Añez y Scarano (Añez Cabrera & Scarano, 2015), desarrollaron un modelado experimental de una planta piloto utilizando la herramienta Ident de Matlab®, previo a este resultado dentro de su metodología acondiciona un sensor de presión que interpreta una alta-baja presión por medida de nivel a una señal eléctrica y realiza la adquisición usando una tarjeta de adquisición de datos NI- USB-6008 con el software Labview, resaltando que el uso de herramientas tecnológicas facilita el proceso de adquisición de los datos. Por otra parte, Castro Silva (Silva et al., 2016), implemento un sistema de riego autónomo que de manera implícita hace una adquisición y almacenaje de todas las variables a intervenir en el proceso, utilizando Raspberry Pi y programación en distintos lenguajes GNU entre estos Python, destacando la facilidad de integración entre ellos.

Esto, reafirmado por Lima y Ospina (LIMA GUAQUETA & OSPINA FUENTES, 2018), los cuales diseñaron e implementaron un sistema de adquisición y visualización de datos, donde concluyen que la utilización de herramientas de software libre junto con la tarjeta de desarrollo Raspberry Pi, permite crear soluciones a necesidades que se presentan en el contexto de industria 4.0. Con lo anterior se propone el uso de software libre para el desarrollo de la propuesta investigativa, en específico Python. Carmona y Ortiz (Carmona Pacheco & Ortiz Hidalgo, 2011), ilustran en su metodología consideraciones para el acondicionamiento señales analógicas, para los sensores que entregan una señal voltaje las reciben con dispositivos de alta impedancia y en el caso de las señales de corriente plantean el uso de dispositivos como los módulos portables SCC de NI, los cuales utilizan resistencias de precisión para tener una conversión de corriente a voltaje (4-20mA a 0-5V). Con base en lo anterior, se propone estrategias de acondicionamiento similares a las descritas.

B. Sistema hidráulico

El sistema hidráulico que se presenta en la figura 1, está compuesto por un tanque con un radio en base de 19cm y una altura máxima de llenado de 45cm, la variable altura medida con un sensor ultrasónico y la salida de líquido es controlada por una electroválvula proporcional de 1" con un área de paso máxima de 160um² el cual llega al tanque reserva. El flujo de entrada se dispone del tanque reservorio siendo aproximadamente de 200mL/seg mediante una bomba hidráulica y un arreglo de

tuberías de ½" con válvulas manuales para establecer este flujo de entrada.

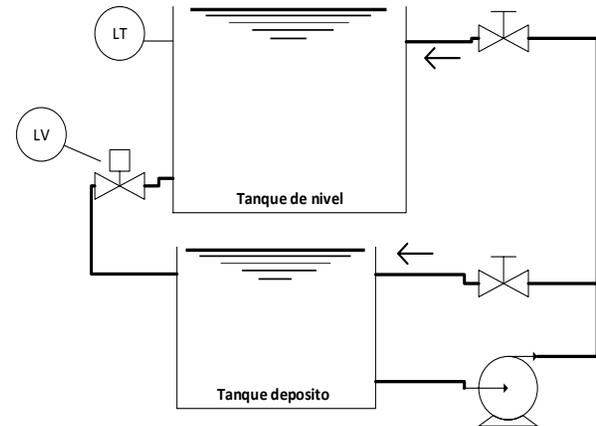


Fig. 1. Sistema hidráulico. (Autores)

El modelo analítico que describe el comportamiento de la planta es el mostrado en la ecuación (1) en donde A corresponde al área de base del tanque para nivel, Q_{in} corresponde al flujo de entrada, K la constante de área de paso máximo a una apertura igual a 1, y g la aceleración de la gravedad establecida como 9.8 m2/seg.

$$A \frac{dh}{dt} = Q_{in} - K \cdot a(t) \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (1)$$

Sustituyendo los valores característicos de la planta, da como resultado (2).

$$123786 \cdot \frac{dh}{dt} = 200 - 160 \cdot a(t) \cdot \sqrt{19.6 \cdot h(t)} \quad (2)$$

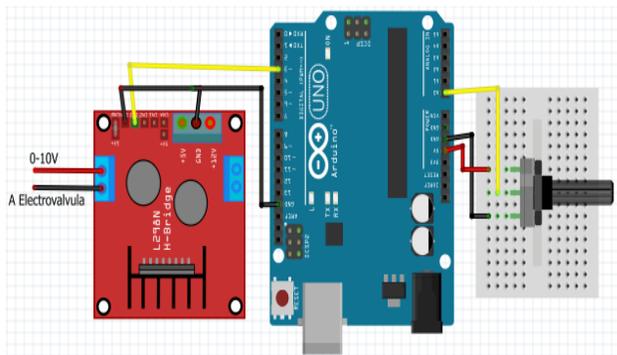
Las características electrónicas de los elementos del sistema se presentan en la tabla 1, teniéndolas en cuenta para posteriormente elegir las estrategias de acondicionamiento de estos elementos.

*Tabla 1: Características de sensores y actuadores del sistema.
(Autores)*

Elementos	Alimentación	Control	Retroalimentación
Sensor Ultrasónico	24 V	-	4-20 mA
Electroválvula proporcional	24 V	0-10 V	0-10 V

El sensor de nivel posee una resolución de 5mm con un rango máximo de 1.25m y una banda muerta de 5cm, su calibración se da mediante un software específico en el cual se ingresa las dimensiones y forma del tanque en donde se instala el sensor (Flowline, 2019).

Para la electroválvula se utilizó una placa auxiliar Arduino Uno, la cual con un potenciómetro está encargada de dar el punto de apertura, mediante una señal PWM amplificada a 10V por medio de un módulo Puente H L298N (Wang, 2010) como se muestra en la figura 2.



*Fig. 2. Placa auxiliar Arduino uno con L298N.
(Autores)*

Presente lo anterior, se identificaron los requisitos que debe cumplir el sistema de instrumentación: Las señales a recibir presentan amplitudes de 4-20mA y 0-10V. Se debe emplear un canal de instrumentación analógico.

La configuración dada al acondicionamiento de las señales debe ser orientada hacia a voltajes de rangos bajos y debe tener una conversión analógica/digital ya que como elemento final se tiene la tarjeta Raspberry Pi 3B+ (Patil & Bhole, 2019),

la cual carece de pines analógicos y maneja niveles lógicos entre 0-3.3V.

La adquisición de datos debe ser controlada, de tal forma que sea posible pausar y reiniciar.

Durante la adquisición, se deben graficar las señales en formato unidades de variable contra tiempo, cada señal se muestra en un gráfico independiente.

Con estos requisitos establecidos y las características de la Raspberry Pi 3B+, se diseñó un sistema de instrumentación compuesto por una etapa de acondicionamiento y conversor análogo/digital para poder entregar las señales a la placa, además, de una interfaz gráfica de usuario para la visualización y almacenamiento de los datos experimentales. En la figura 3 se presenta el diagrama en bloques simplificado del sistema de instrumentación propuesto.

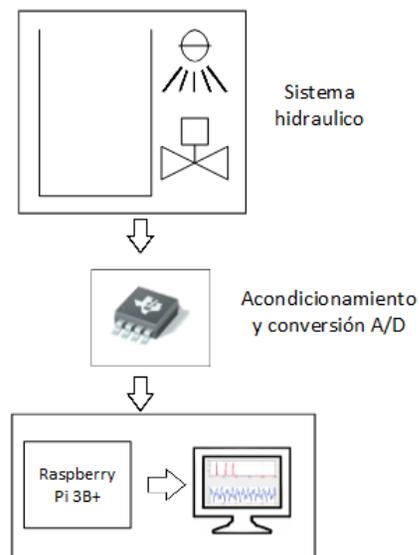


Fig. 3. Diagrama en bloques simplificado del sistema de instrumentación propuesto. (Autores)

C. Condicionamiento y conversión.

Para el tratamiento de las señales analógicas es necesario contar con una etapa de acondicionamiento, ya que generalmente proceden de sensores, por lo que es necesario adecuarlas a niveles que sean compatibles con los elementos que las procesarán (López Flores, 2005).

Teniendo en cuenta los tipos de señales que presentaban los elementos de la planta se definió aplicar un acondicionamiento basado en divisores de voltaje. Para la retroalimentación de

electroválvula se utilizó un arreglo de resistencias el cual permite representar la señal de apertura reduciendo el voltaje de 10V a 3.3V (BUSTINZA MACEDO, 2018).

El acondicionamiento para la señal del sensor ultrasónico se hizo utilizando un módulo, el cual permite convertir y representar la señal de corriente a una señal de voltaje (Camargo B. et al., 2013), debido a las consideraciones que se debe tener con este tipo de señal, como la susceptibilidad de lazos a tierra y requisitos de aislamiento a voltajes considerablemente altos para los circuitos siguientes, además de cargas parasitas que evita una buena lectura.

La selección del conversor análogo/digital se realizó por medio de la técnica matriz de priorización, donde se compararon cuatro parámetros requeridos por el sistema electrónico propuesto.

En la Tabla 2 se muestran los parámetros comparados y su denotación para la selección del conversor ADC.

Tabla 2: Parámetros de comparación para la selección de ADC. (Autores)

Parámetro	Denotación
Frecuencia de muestreo	V
Resolución	X
Puertos de entrada	Y
Nivel de voltaje	Z

La selección realizada mediante la técnica de matriz de priorización se basa en fijar un peso general para cada parámetro y posteriormente compararlos con las opciones de conversores ADC, de esta manera se pondera cada opción, sumando el desempeño del mismo en cada parámetro, cada uno de estos valores se multiplica por el peso del parámetro, llegando a los valores parciales que al ser sumados uno a uno, dan el resultado final para cada opción (Niño Rondón et al., 2020).

D. Adquisición, almacenamiento y visualización.

Se desarrollaron los correspondientes algoritmos para la adquisición, almacenamiento y visualización en Python 3.7.3 definidos según dispositivos a utilizar, dentro de este se utilizó librerías como Adafruit circuitpython mcp3xxx, MySQL-Connector, Matplotlib, CSV y Tkinter. En la figura 4 se observa las etapas para la ejecución

del algoritmo en la adquisición, almacenamiento y visualización.

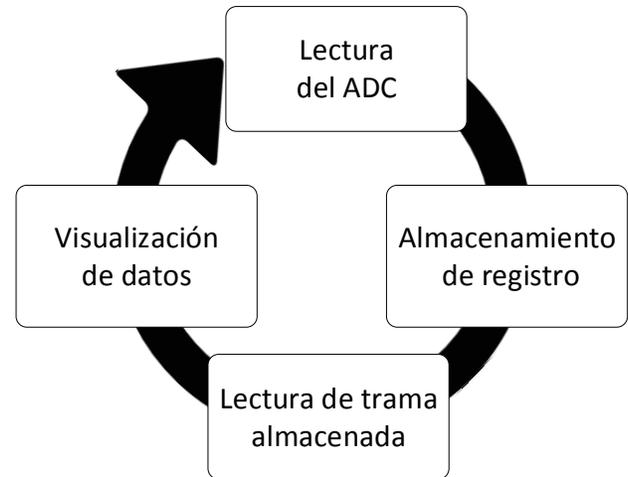


Fig. 4. Etapas para el desarrollo del algoritmo en la adquisición, almacenamiento y visualización. (Autores)

La librería Adafruit circuitpython mcp3xxx establece una comunicación SPI entre el conversor y la placa, de esta manera la Raspberry recibe las señales que interpreta el conversor (Jawitz et al., 2019), permitiendo la adquisición. La librería MySQL-Connector sustenta la gestión de un base de datos local previamente creada, para nuestro caso, se instaló XAMPP, un paquete de software libre que proporciona gestión de base de datos MySQL (Luna et al., 2015), de tal manera nos permite guardar y leer los registros para un trend data grafica. La visualización se apoyó en el uso de dos librerías, Matplotlib (Benz et al., 2017) encargada de crear gráficos estáticos, animados e interactivos para ilustrar los datos y Tkinter (Machado & Coto, 2018), librería que proporciona un kit de herramientas para construir una interfaz gráfica.

3. RESULTADO Y DISCUSIÓN

En esta sección se muestran y detallan los resultados obtenidos al realizar el acondicionamiento de las señales y la selección del conversor ADC, así como la prueba del algoritmo de adquisición, almacenamiento y visualización en respuesta de la planta.

A. Acondicionamiento de señales

En la figura 5 se muestra el arreglo de resistencias utilizado para la retroalimentación de la electroválvula, se empleó un divisor de voltaje para llevar la señal de 10V a 3.3V y así conocer el porcentaje de apertura.

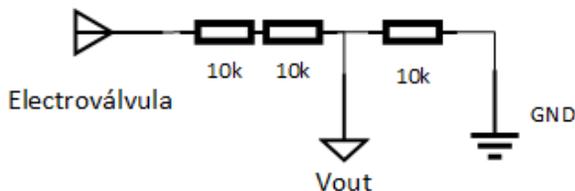


Fig. 5. Divisor de voltaje para retroalimentación de electroválvula. (Autores)

En la Figura 6 se muestra la configuración entre el sensor ultrasónico y el módulo conversor corriente a voltaje, este posee un rango en voltaje de operación de 7-30V, su entrada y salida se ajustan para trabajar entre 0-20mA o 4-20mA y 0 – 2.5V, 3.3V, 5V, 10V, 15V respectivamente. Este módulo se trabajó con el sensor ultrasónico con conversión de 4-20mA a 0-3.3V, su pin de alimentación VCC es de 24V DC, siendo el voltaje que demanda el sensor, el módulo permite reflejar este voltaje sus borneras IN.

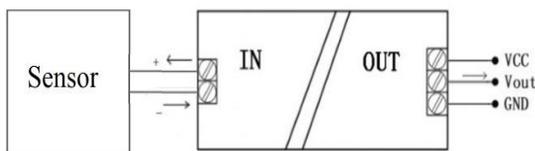


Fig. 6. Conexión sensor ultrasónico con módulo conversor. (Autores)

Es de resaltar, la importancia del divisor de voltaje para la señal de corriente del sensor ultrasónico por tenerse una resistencia de precisión de 165 Ohm para poder dar una lectura de 3.3V a una corriente de 20mA y 0V para 4mA.

Es de resaltar, la importancia del divisor de voltaje para la señal de corriente del sensor ultrasónico por tenerse una resistencia de precisión de 165 Ohm para poder dar una lectura de 3.3V a una corriente de 20mA y 0V para 4mA.

B. Conversión Análogo a Digital (ADC)

Se seleccionó el conversor ADC que obtuvo el valor más alto al comparar los parámetros expuestos en la Tabla 2. En la Tabla 3 se muestra la matriz de priorización realizada, de la que se deduce el uso del MCP3008 como el conversor óptimo para el sistema de instrumentación, ya que obtuvo el 32.3% del consolidado final.

Tabla 3. Matriz de priorización para la selección de conversor ADC. (Autores)

	V	X	Y	Z	TOTAL
ADS1115	0.0106	0.4878	0.1237	0.3306	0.2724
ADS1015	0.1429	0.3707	0.0243	0.3306	0.1990
ADC0808	0.4233	0.0098	0.4260	0.0083	0.2056
MCP3008	0.4233	0.1317	0.4260	0.3306	0.3230
PESO	0.0189	0.2642	0.4528	0.2642	

El MCP3008 dispone 8 canales, frecuencia de trabajo máxima de 75KHz a un voltaje de trabajo de 3.3V. Además, cuenta con una resolución de 10 Bits, dando una sensibilidad a los cambios de 0,44mm de altura y utiliza comunicación SPI, protocolo tolerado por la Raspberry Pi (Gupta et al., 2018).

Fue necesario disponer de una fuente DC de 24V para la alimentación al módulo conversor corriente-voltaje y electroválvula del sistema, así también una alimentación +5V DC para tarjeta Raspberry Pi 3B+. En la figura 7 se presenta la estructura en hardware del sistema de instrumentación diseñado.

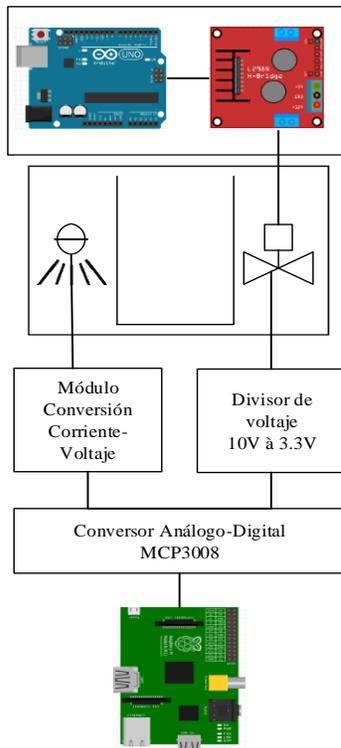


Figura 7. estructura en hardware de sistema de instrumentación. (Autores)

C. Adquisición, almacenamiento y visualización de datos

Como anteriormente se mencionó, se creó una base de datos llamada “Tanque” y dentro de ella la tabla “Data_tanque”, está compuesta por tres columnas las cuales corresponden al número de muestra de tipo entero, la altura y apertura de tipo float. En la figura 8 se muestra esta base de datos mediante el gestor phpMyAdmin (Banqueri, 2018).

Muestra	Altura	Apertura
1	0.159	70
2	0.159	70
3	0.159	70
4	0.159	70
5	0.159	70
6	0.159	70
7	0.159	70
8	0.159	70
9	0.159	70
10	0.159	70
11	0.159	70
12	0.159	70
13	0.159	70

Fig. 8. Base de datos creada para almacenamiento de variables. (Autores)

La interfaz cuenta con tres pulsadores, “Start” el cual cambia de estado la variable booleana condición a true, haciendo que entre en un ciclo While en donde se procede a leer los canales del convertor, luego realizar la conexión con la base de datos para así guardar el registro de las señales y leer toda la trama hasta el momento, posterior a esto las almacena en un vector vacío para así actualizar las gráficas en pantalla, este ciclo se repite mientras la variable condición no cambie a estado false. El pulsador “Stop” cambia de estado la variable condición a False haciendo que la adquisición pare, borrando toda la trama de datos en la base de datos y limpiando la gráfica. Por último, el pulsador “Generar archivo .csv” hace que la trama de datos que ya se ha graficado hasta el momento se exporte en un archivo csv guardado con el nombre “data_Tanque” en la carpeta raíz del programa. En la figura 9 se muestra la interfaz diseñada para la adquisición. Como parámetro importante en cualquier sistema de instrumentación, la frecuencia de adquisición es definida y establecida de forma permanente en el código.

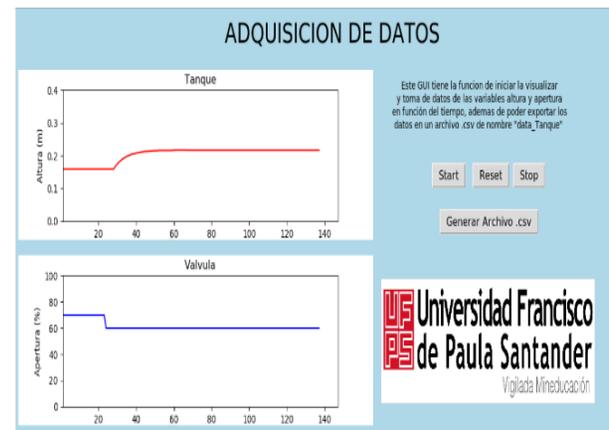


Fig. 9. Interfaz gráfica de usuario. (Autores)

D. Resultados experimentales

El Sistema de instrumentación diseñado es la primera fase en el desarrollo de una investigación relacionada con el control de una planta hidráulica, cuya pruebas experimentales fueron realizadas para adquirir datos ante una entrada escalón de amplitud 0.7 en la electroválvula con el propósito de comparar la respuesta experimental de la planta y la respuesta analítica según el modelo matemático mostrado en la ecuación 1.

La adquisición se hizo a una frecuencia de 1Hz para un periodo aproximado de 20min, teniendo un aproximado de 1248 muestras. El modelo de la planta fue simulado en el software Simulink de MatLab® con un tiempo de simulación 1200 seg. En la figura 10 se presenta la respuesta del modelo analítico simulado y la adquisición experimental bajo las mismas condiciones trabajo emuladas.

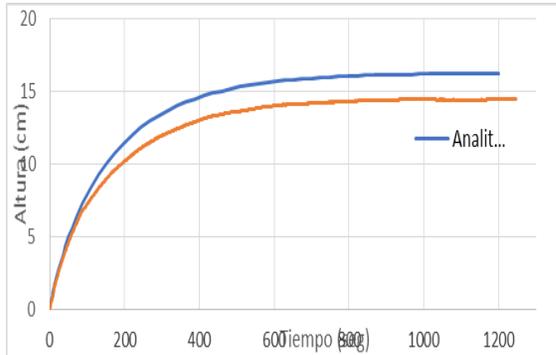


Fig. 10. Respuesta del modelo analítico simulado y experimental. (Autores)

Dado por limitaciones de Simulink la respuesta analítica esta expresada en un vector de tiempo de 87 puntos, desde 0 a 1200 segundos con saltos de 13.95 seg aproximadamente. El error presentado entre la respuesta analítica y la experimental se muestra en la figura 11, en donde se tiene una transición de 49.3% al 10.4% en la etapa inicial y estabilizando en un error de 12.7% aproximadamente.

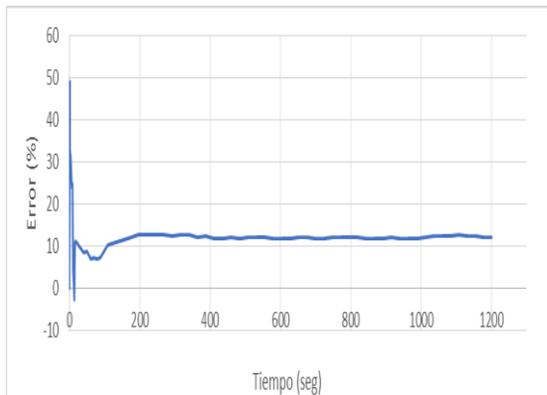


Fig. 11. Error entre modelo analítico simulado y experimental. (Autores)

4. CONCLUSIONES

Muchas aplicaciones como Matlab o LabView permiten desarrollar interfaces gráficas, sin embargo, ambas tienen un alto costo de licencia. Por lo tanto, el uso de Python da una alternativa para este propósito, debido a que las librerías desarrolladas en esta plataforma son de uso libre, en conjunto con la placa Raspberry Pi 3B+ es una buena opción al momento de emplearla en ámbito electrónico in circuits.

El sistema experimental de instrumentación realizado permitió la adquisición de datos para un escenario de funcionamiento, de esta manera facilita la validación entre el modelo analítico y experimental de la planta, notando entre estas una exactitud del 87.3%. visto esto se puede considerar que el modelo analítico representa significativamente la planta.

El uso de estrategias de acondicionamiento como las utilizadas permiten adaptar las señales de forma fácil, considerando siempre que estas señales tengan un comportamiento lineal.

Como trabajos futuros se contemplan la adición de más funciones al sistema, como control de la planta, variación de los parámetros de adquisición y visualización remota.

5. REFERENCIAS

- Adam J, E. (2020). INSTRUMENTACION Y CONTROL DE PROCESOS.
- Añez Cabrera, G., & Scarano, M. (2015). Modelado experimental del nivel de un tanque de agua en una planta piloto. *Telématique: Revista Electrónica de Estudios Telemáticos*, 14(1), 58–78.
- Banqueri, J. M. L. (2018). CREACIÓN Y GESTIÓN DE UNA BASE DE DATOS CON MYSQL Y PHPMYADMIN. Universidad de Jaén.
- Basantes Montero, D. T., Rea Minango, S. N., & Barzallo Núñez, D. I. (2019). Sistema de manufactura flexible orientado a industria 4.0. 38.
- Beniz, D. B., Espindola, A. M., Synchronon, B., Dispersive, D., & Absorption, X. (2017). USING TKINTER OF PYTHON TO CREATE GRAPHICAL USER INTERFACE (GUI) FOR SCRIPTS IN LNLS. 56–58.

- <https://accelconf.web.cern.ch/pcapac2016/papers/wepoprpo25.pdf>
- BUSTINZA MACEDO, F. (2018). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN Y SUPERVISIÓN REMOTA USANDO LA PLATAFORMA RASPBERRY PI PARA EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DE EFECTIVIDAD DE LA LUZ AZUL EN EL TRATAMIENTO DE LA ICTERICIA NEONATAL. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO.
- Camargo B., C., Asprilla, M., & Rosas, N. F. (2013). Sistema electrónico para la adquisición, procesamiento y comunicación de las señales eléctricas para el uso en redes inteligentes (Smart Grids). *Ingenium Revista de La Facultad de Ingeniería*, 14(27), 15. <https://doi.org/10.21500/01247492.2585>
- Carmona Pacheco, M., & Ortiz Hidalgo, S. A. (2011). ACONDICIONAMIENTO DE SEÑALES ANALÓGICAS UTILIZANDO MÓDULOS PORTABLES SCC PARA EL LABORATORIO DE MECATRÓNICA [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1484/1/85T00206.pdf>
- Castro, S. A., Medina, B., & Camargo, L. L. (2016). Supervisión y Control Industrial a través de Teléfonos Inteligentes usando un Computador de Placa Única Supervision and Industrial Control through Smartphone using a Single-board Computer Raspberry Pi. 27(2), 121–130. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642016000200015>
- Flowline. (2019). EchoPod ® DL14 Multi-function Ultrasonic Transmitter datasheet. https://www.flowline.com/_data_sheet_and_manuals/current/EchoPod_DL14_Data_Sheet.pdf
- Gupta, A., Jain, R., Joshi, R., & Saxena, R. (2018). Real time remote solar monitoring system. *Proceedings - 2017 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication and Automation (Fall), ICACCA 2017, 2018-Janua*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICACCAF.2017.8344723>
- Jawitz, M. A., Keith, M. J., & Sanders, S. L. (2019). Esophageal Mapping and Temperature Regulation for Catheter Ablation. California Polytechnic State University.
- Leonardo, O., Peña, M., De, U., Buenaventura, S., De Ingeniería, F., & Bogotá, M. (2010). MODELADO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA HIDRÁULICO.
- LIMA GUAQUETA, J. E., & OSPINA FUENTES, P. L. (2018). DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE DATOS BASADO EN LA PLATAFORMA DE SISTEMAS EMBEBIDOS RASPBERRY PI. UNIVERSIDAD SANTO TOMAS.
- López Flores, R. L. (2005). FPAA para Sistemas de Procesamiento y Acondicionamiento de Señales Analógicas (Vol. 52, Issue 321).
- Luna, R. G., Nolasco, A. Q., Tijerina, L., & Castro, M. (2015). Sistema de adquisición de datos meteorológicos en tiempo real con PLC * Acquisition system in real-time meteorological data with PLC Resumen Introducción. 6, 1701–1713.
- Machado, E., & Coto, H. (2018). Sistema de adquisición de datos con Python y Arduino. October. https://www.researchgate.net/profile/Eduardo_Machado_Diaz/publication/321184191_Sistema_de_adquisicion_de_datos_con_Python_y_Arduino/links/5bc53e49a6fdcc03c788c807/Sistema-de-adquisicion-de-datos-con-Python-y-Arduino.pdf
- Niño Rondón, C. V., Castro Casadiego, S. A., Medina Delgado, B., & Guevara Ibarra, D. (2020). Análisis de viabilidad y diseño de un sistema electrónico para el seguimiento de la dinámica poblacional en la ciudad de Cúcuta. *Ingenierías USBMed*, 11(1), 56–64. <https://doi.org/10.21500/20275846.4489>
- Patil, P., & Bhole, K. (2019). Real time ECG on internet using Raspberry Pi. *Proceedings of the 2018 International Conference On Communication, Computing and Internet of Things, IC3IoT 2018*, 267–270. <https://doi.org/10.1109/IC3IoT.2018.8668157>
- Robayo, F. I. B., Barrera, A. M. F., & Polanco, L. C. C. (2015). Development of a controller based on neural networks for a multivariable level and flow system. 14(2), 43–54.
- Rojas Pérez, M. I. (2015). Sistema electrónico para el monitoreo y control de cultivos utilizando tecnología inalámbrica en la comunidad La Unión del cantón Quero mediante software libre [UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO]. http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/10589/1/Tesis_984ec.pdf
- Silva, C., Antonio, J., Antonio, J., & Silva, C. (2016). Sistema de riego autónomo basado en la Internet de las Cosas. <http://reunir.unir.net/handle/123456789/3648>

- Srinath, K. R. (2017). Python – The Fastest Growing Programming Language. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 354–357. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/55458585/IRJET-V4I1266.pdf?1515226715=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DPython_The_Fastest_Growing_Programming_L.pdf&Expires=1593202307&Signature=HBD7oa85wDxqRzTwx01uVRBIMacGX5mkGk1b~SVVTTkENJ6cf5diKz
- Wang, W. (2010). A speed regulation system of DC motor based on PWM technology. *Applied Mechanics and Materials*, 29–32, 2194–2199. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.29-32.2194>