

Implementation of an automated bathtub prototype for dogs using feedback and sequential control monitored by Labview

Carlos Piero García Blondet, Ing¹, Pedro Huamaní-Navarrete, Dr²
^{1,2}Ricardo Palma University, Perú, pierogb88@gmail.com, phuamani@urp.edu.pe

Abstract— This article describes the implementation and automation of a low-cost, domestic dog bath prototype; for this, an enclosure with a wooden structure, acrylic sheets and PVC tubes was implemented, in order to provide comfort to the dog while receiving the bath. Likewise, in order to reduce the consumption of water and energy, an automation was implemented using sensors and actuators (solenoid valves, electropump and submersible resistance), a PID controller to control the water temperature, an On-Off controller to control the water level, a sequential control for the washing and drying process, and the monitoring of the entire process through the Labview software. The PID tuning was carried out by the trial and error method where the final parameters were $K_p=0.5$, $T_i=0.001$ and $T_d=0.02$; in addition, the establishment time to achieve the desired temperature was equal to 45.35 minutes, the time used by the sequential controller was close to 115 seconds for a given total water consumption.

Keywords— Bath for dogs, PID Control, On-Off Control, Sequential Control, Labview.

Implementación de un prototipo automatizado de bañera para canes utilizando control realimentado y secuencial monitoreado por Labview

Carlos Piero García Blondet, Ing¹, Pedro Huamaní-Navarrete, Dr²
^{1,2}Ricardo Palma University, Perú, pierogb88@gmail.com, phuamani@urp.edu.pe

Resumen— Este artículo describe la implementación y la automatización de un prototipo de bañera para canes de bajo costo y doméstica; para ello, se implementó un recinto con estructura de madera láminas de acrílico y tubos PVC, con la finalidad de otorgar un confort al can mientras recibe el baño. Asimismo, con la finalidad de reducir el consumo de agua y energía, se implementó una automatización utilizando sensores y actuadores (electroválvulas, electrobomba y resistencia sumergible), un controlador PID para controlar la temperatura del agua, un controlador On-Off para controlar el nivel de agua, un control secuencial para el proceso de lavado y secado, y el monitoreo de todo el proceso a través del software Labview. La sintonización del PID se realizó por el método de ensayo y error donde los parámetros definitivos fueron $K_p=0.5$, $T_i=0.001$ y $T_d=0.02$; además, el tiempo de establecimiento para la lograr la temperatura deseada fue igual a 45.35 minutos, el tiempo utilizado por el controlador secuencial se aproximó a 115 segundos para un determinado consumo total de agua.

Palabras claves—Bañera para canes, Control PID, Control On-Off, Control Secuencial, Labview.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, son varios los hogares que adoptan o cuentan con alguna mascota en particular, tal como los canes; donde el baño se torna difícil debido a que les incomoda el agua, ya sea por la temperatura, la forma como se realiza el baño o por alguna mala experiencia.

De esta manera, el problema radica en que estos baños consumen demasiada agua y electricidad, así como también se provoca estrés y ansiedad en estos animales. Por lo cual, en este artículo, producto de un trabajo de tesis desarrollado en la Universidad Ricardo Palma, Lima-Perú [1], se planteó la implementación de un prototipo de bañera doméstica y automatizada para canes, y de bajo costo. Además, se justificó por la facilidad de adquisición y montaje de los sensores de temperatura y nivel, así como por la viabilidad de la implementación y sintonización de un controlador PID y On-Off a través del software LabVIEW.

Para la implementación real del prototipo de bañera doméstica propuesto, se recurrió a diferentes trabajos para recopilar la información, experiencia y dificultades encontradas en el desarrollo de esta. Fue así que, en [2] se consideró añadir un lazo de control de temperatura al módulo

de control de nivel existente del Centro de Tecnologías Avanzadas de Manufactura (CETAM) de la Universidad Pontificia Católica del Perú, donde se emplearon resistencias calefactoras como actuadores, y un sensor de temperatura LM35; también se desarrolló una interfaz gráfica de usuario con el software LabVIEW, considerando un Set Point de 28 °C y un PID sintonizado que eliminó el sobreimpulso en un tiempo de establecimiento de 300 segundos.

Del mismo modo, en [3] se logró implementar un sistema de 3 tanques acoplados con un control On-Off de nivel y un control PID de flujo; estos tanques se unieron por medio de tuberías, 1 válvula solenoide y 3 válvulas manuales; además, utilizaron el software Matlab para encontrar las constantes de ganancia del controlador PID, y la interfaz gráfica desarrollada se realizó utilizando el Labview.

Luego, en [4] se diseñó un sistema de calentamiento de agua para una ducha utilizando un controlador de temperatura PID, el cual minimizó el consumo eléctrico y el de agua. Para la implementación de dicho controlador se optó por el módulo Arduino y una etapa electrónica de potencia para controlar el actuador.

Asimismo, como resultado de [5] se logró implementar un sistema de control de lazo cerrado de temperatura y flujo con fin de ahorrar agua en las duchas eléctricas; para ello, se utilizaron termocuplas, sensor de proximidad, servoválvula, relé de estado sólido, microcontrolador, entre otros dispositivos. Por lo cual, consiguieron un ahorro de agua hasta en un 30%.

Igualmente, se diseñó e implementó una planta conformada por dos tanques, con la finalidad de controlar el nivel de agua a través de un PID y utilizando el Labview; previamente, se empleó el Arduino y el Matlab con el Toolkit PID Tuning para obtener los parámetros del controlador, lo que obligó a retirar la constante derivativa por la conmutación rápida presentada [6].

Complementario a la bibliografía revisada, se cuenta con el trabajo de [7] donde se implementó un sistema de control de temperatura para una regadera; este sistema consistió en regular la temperatura del agua manipulando las válvulas para lograr obtener una temperatura deseada por el usuario y de esta forma evitar su desperdicio.

Tal como se investigó en [8] donde se mantuvo constante la temperatura del agua y se minimiza el uso de esta, también se consideró en este trabajo la disipación térmica para el

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

diseño del prototipo automatizado de bañera. Mientras que en [9], se toma en cuenta solamente el hecho de utilizar un controlador electrónico principal, para los controles realimentados y secuencial, pero obviando el controlador de panel táctil debido a la interacción constante con el agua y la mascota que recibe el baño.

De esta manera, el artículo se estructuró de la siguiente manera. En la primera sección se presenta la introducción, seguido del marco teórico y la metodología empleada en la implementación del prototipo; luego, como cuarta sección se incluyen las pruebas y resultados, seguido de las conclusiones y las referencias bibliográficas utilizadas para la presente investigación.

II. MARCO TEÓRICO

En esta sección se abordan algunos conceptos referentes al desarrollo de este trabajo de investigación, producto de una sustentación de tesis para la obtención del título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú [1].

A. Controladores PID y On-Off

Un controlador PID es un método de control que actúa sobre un actuador para mantener estable un proceso, es decir para mantener el valor de una variable que es medida por un sensor en un valor deseado. Este controlador es muy utilizado en las industrias, debido a ser un controlador robusto y tiene muchas aplicaciones [10]. Por otro lado, según [11], el controlador On-Off se caracteriza por ser un sistema de dos posiciones que actúa sobre el elemento de actuación para el encendido o apagado como lo señala el nombre de este controlador. Este sistema es uno de los más utilizados en el ámbito doméstico e industrial por el bajo costo y su manejo.

B. Sensor de Temperatura DS18B20 sumergible

Es un sensor encapsulado e impermeable que posee un rango de medida entre -55°C y 125°C ; sin embargo, no en todo este rango tiene el mismo comportamiento, ya que la tolerancia al error es diferente en ciertos rangos. Además, este sensor permite trabajar en un rango variable de resoluciones, ajustando la precisión (variación mínima medible entre dos temperaturas); y como también, cuenta con un protocolo de comunicación 1-wire el cual permite trabajar con múltiples sensores a través de un solo cable conectado a un pin de entrada de Arduino.

C. Sensor de Nivel HC-SR04

Es un sensor que permite determinar la distancia de un objeto en un rango de 2 a 450cm. Además, es un dispositivo de bajo costo, bajo consumo energético y de pequeño tamaño. Este sensor cuenta con dos transductores: un emisor y un receptor piezoeléctricos.

D. Resistencia calefactora de inmersión

Es un dispositivo eléctrico cuya finalidad es elevar la temperatura de cierto fluido que se encuentre en contacto

directo con este elemento. Para ello, su voltaje de alimentación es de 220 VAC y su amperaje de consumo es de 13.64 A; por otro lado, el diámetro del tubo es de 8 mm. y su longitud es igual a 203 mm.

E. Módulo Relé

Fue utilizado para separar eléctricamente la corriente de acoplamiento y los circuitos controlados por contacto. Asimismo, fue controlado por un microcontrolador Arduino para controlar las electroválvulas del prototipo de bañera.

F. Electrobomba y Electroválvula

La electrobomba o bomba de agua utilizada en esta investigación fue de 0.5 HP de potencia, para poder abastecer de agua a la bañera. Por otro lado, la electroválvula empleada recibió una alimentación de 12 VDC, permitiendo así el ingreso del agua al prototipo de bañera en el momento que fue activado por el microcontrolador.

III. IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE BAÑERA

Para la implementación del prototipo de bañera se realizaron cuatro etapas. Primero, la etapa de dimensionamiento y montaje del prototipo, luego la implementación de los controladores de nivel y temperatura, seguido del controlador secuencial, y finalmente el desarrollo de la interfaz de usuario utilizando el Labview.

A. Dimensionamiento del prototipo de bañera

El prototipo de bañera fue dimensionado en base 4 secciones: estructural, plomería, eléctrica y electrónica.

- Sección Estructural. Estuvo conformada por la base, la cabina de la bañera, la estructura con PVC y el tanque de agua. La base fue construida con madera tipo OSB por la facilidad que ofrece dicho material (11 mm. de espesor), pero antes de su implementación se utilizó el software Autodesk Inventor para su diseño. La cabina de la bañera es el lugar donde se posiciona el can para su baño (90cm x 70 cm. x 80 cm.), ofreciéndole comodidad, protección y evitando que el agua usada se rebalse; para la construcción de esta cabina se utilizaron planchas de acrílico transparente formando una especie de caja y su diseño también fue realizado en el software Autodesk Inventor. Por otro lado, la estructura fue construida con tubos de PVC de $\frac{1}{2}$ "", tri codos para las esquinas y un conector Tee; y, con la finalidad de que el agua alcance al can en más de un punto, se realizaron agujeros de 2 mm. en los 3 tubos superiores con una distancia entre cada uno de 1 cm. Asimismo, antes de su implementación fue diseñado previamente en el software Autodesk Inventor. Ver la figura 1.

Respecto al tanque de agua se eligió uno de 77.5 cm. de largo, 47.4 cm. de ancho y 45.7 cm. de alto; además, se ubicó en la parte inferior de la estructura de la base de la bañera. Adicionalmente, se añadió un depósito de 59.7 cm.

de largo, 46.4 cm. de ancho y 34.7 cm. de alto, donde se depositó el drenaje de la bañera. Ver la figura 2.



Fig. 1 Fotografía del prototipo de bañera que incluye la base, la cabina y la estructura con tubos PVC.

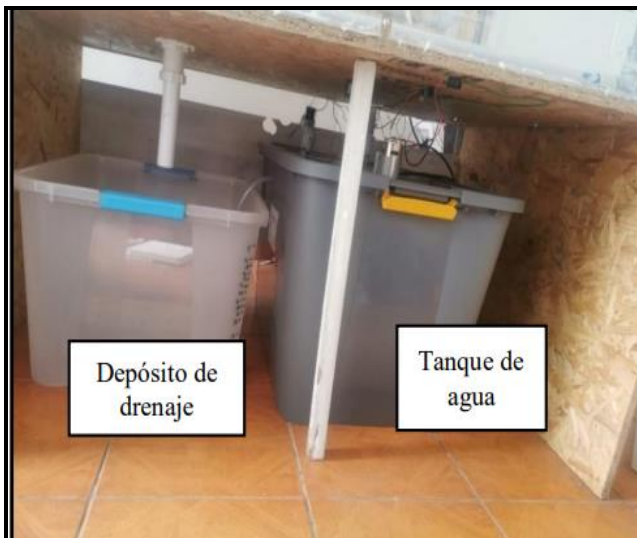


Fig. 2 Fotografía de los dos tanques de agua que forman parte de la estructura del prototipo de bañera.

- Sección Plomería. Fue implementada utilizando Tubos PVC de 1/2", una llave de paso que permitió el ingreso del agua, una electroválvula controlada por el On-Off, y una electrobomba para impulsar el agua desde el tanque hacia la bañera.
- Sección Eléctrica. Fue implementada con dispositivos que trabajan con diferentes tipos y niveles de voltaje. A continuación, se comparten tales características en la Tabla I.
- Sección Electrónica. Fue implementada con un sensor de nivel ultrasónico HC-SR04 que fue aislado con silicona y ubicado en la parte superior del tanque de agua, un sensor

sumergible de temperatura DS18B20 ubicado en el interior del tanque de agua, un sensor de temperatura ambiental DTH22, tres electroválvulas (una para el control On-Off y las otras dos para el control secuencial). Ver la figura 3.

TABLA I
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA PARA ACTUADORES Y ELECCIÓN DE INTERRUPTORES TERMOMAGNÉTICOS

Ítem	Dispositivo eléctrico	Cant.	Potencia (Kw)	Amperaje (A)	Interruptor de Protección
1	Electrobomba (0.5 HP)	1	0.370	1.68	6 A
2	Resistencia de inmersión.	1	3.000	13.64	20 A
3	Válvula solenoid de 1/2" 12 VDC 8W.	3	0.024	0.11	6 A
Interruptores Termomagnéticos con factor de seguridad 25%					
1	Interruptor General (IGA)			15.43	25 A
2	Interruptor Diferencial (ID)				25 A

Fuente: elaboración propia

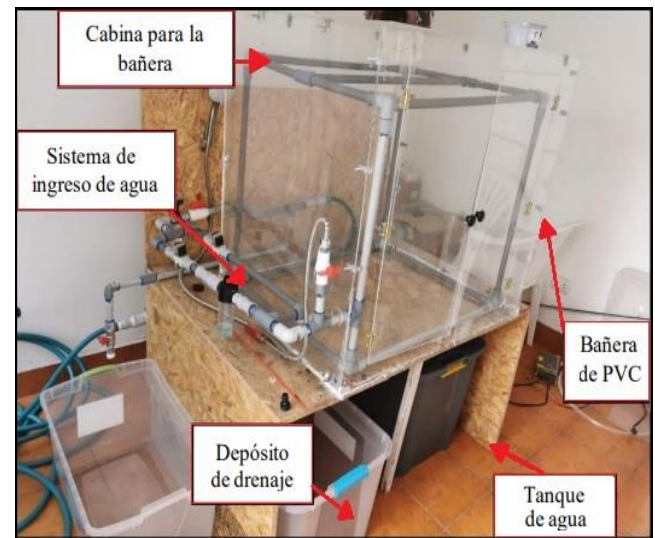


Fig. 3 Fotografía de la implementación del prototipo de bañera.

Además, una electrobomba de agua controlada por el Arduino a través de un relé de estado sólido, una resistencia calefactora sumergible instalada en la parte inferior del tanque de agua que con un circuito de dimmer se controló el disparo de un triac para regular su potencia, un termostato como respaldo de seguridad para la bañera con una temperatura de corte igual a 40 °C, una tarjeta de interfaz para interactuar con los sensores y actuadores a partir del Arduino, un primer módulo Arduino como dispositivo de interfaz con el software Labview tal como una tarjeta de adquisición de datos, y un segundo módulo Arduino para el control del dimmer.

Respecto al diseño del circuito dimmer, se conformó de dos etapas: detector cruce por cero y control de potencia. Para el caso del circuito detector cruce por cero se utilizó un puente de diodos que realizó la rectificación de la onda de entrada, y un optoacoplador 4N25 cuya función fue de aislar la señal AC del Arduino, además de generar el pulso digital cuando la onda AC cruza por cero. Y, para el caso del circuito de potencia, el diseño consistió en controlar la potencia disipada por la resistencia cuando el Arduino envía la señal de activación al Triac; asimismo, tal circuito utilizó un optoacoplador MOC3021 y un Triac BT138. A continuación, en las figuras 4 y 5 se muestran los esquemáticos de los circuitos cruce por cero y de potencia, realizados en el software Eagle.

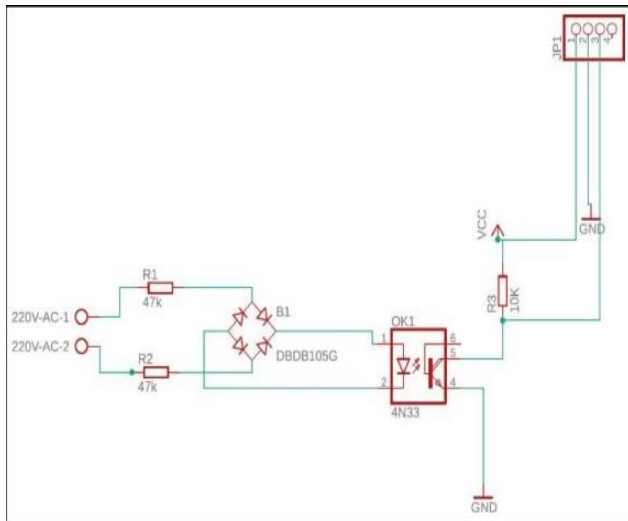


Fig. 4 Esquemático del circuito detector cruce por cero desarrollado en Eagle.

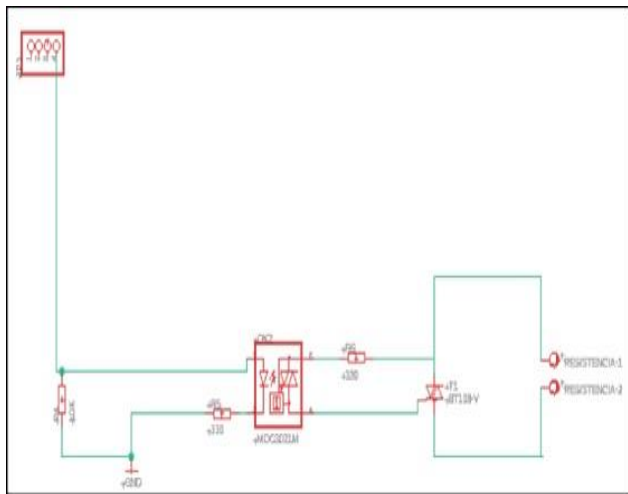


Fig. 5 Esquemático del circuito de potencia desarrollado en Eagle.

B. Implementación de los controladores On-Off y PID

Para la implementación del controlador On-Off se inició con la programación del sensor de ultrasonido en el módulo

Arduino, luego se continuó con la programación en el software LabVIEW para recibir la información enviada por el sensor. A continuación, la figura 6 muestra la ventana Diagrama de Bloques del Labview en donde el código de programación hace uso de ciertos controles, indicadores y funciones tales como tank, formula node, required time, flat sequence structure, case structure, wait, visa serial, función comparación menor e igual, entre otros.

Sin embargo, fue necesario hallar una ecuación para convertir la señal enviada por el sensor de centímetros a litros. Para ello, se adquirieron datos mientras se llenaba el tanque de forma manual a través de un recipiente con capacidad de 5 litros, los cuales se registraron en una hoja de cálculo para luego encontrar la ecuación lineal que satisface tal conversión. En la siguiente expresión, la variable “dist” representa a la distancia en centímetros, y “vol” al volumen en litros.

$$vol = -3.0021 * dist + 115.94 \quad (1)$$

Para la implementación del controlador PID se inició con la programación del Arduino para leer los datos enviados por el sensor de temperatura DS18B20; luego, se continuó con una programación en el software Labview para recoger la información enviada por el sensor. A continuación, la figura 7 muestra la ventana Diagrama de Bloques del Labview en donde el código de programación hace uso de ciertos controles, indicadores y funciones tales como temperature, knob, PID, formula node, required time, flat sequence structure, case structure, wait, visa serial, entre otros.

Asimismo, el controlador PID inicia su funcionamiento cuando el valor de temperatura del Set Point es mayor al valor de temperatura medida, y enviando una señal a la resistencia sumergible para que inicie el calentamiento del agua del tanque.

Para la implementación de la programación de ambos controladores, se tomó como referencia lo desarrollado en [12] y [13].

Sin embargo, el controlador PID necesitó de ser sintonizado; para ello, se utilizó el método de prueba y error y la referencia de parámetros señalados en [14], [15], [16]. Por lo cual, se inició con los valores $K_p=0.2$, $T_i=0.05$ y $T_d=0$ con un Set Point de 22 °C, no obstante, se observó que la respuesta del controlador fue de acción lenta debido a que la resistencia aumentaba su potencia de manera pausada. Fue así como, se cambió la ganancia de la parte integral de 0.05 a 0.001 para alcanzar una acción más rápida del controlador ante el error acumulado, y así lograr que la resistencia se active más rápido. Por último, se realizó un ajuste final a las ganancias proporcional y derivativa con la finalidad de lograr que el controlador tenga una mejor respuesta. Los valores finales fueron $K_p= 0.5$, $T_i=0.001$ y $T_d= 0.02$.

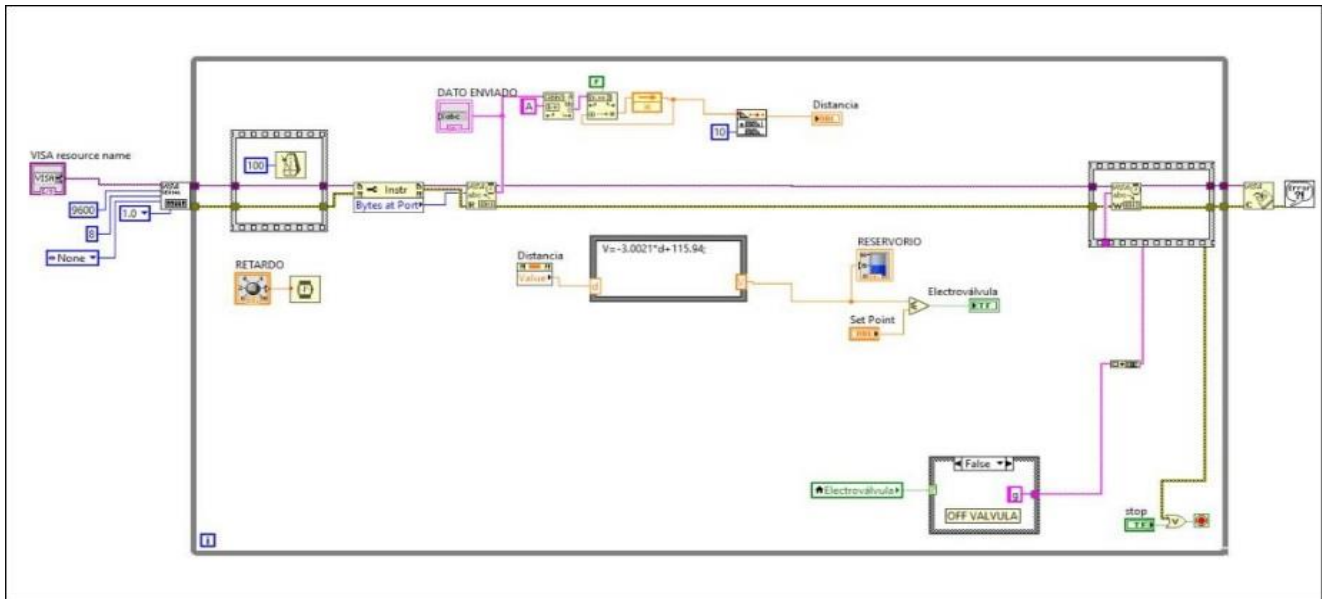


Fig. 6 Código de programación en Labview del Controlador On-Off para la variable nivel.

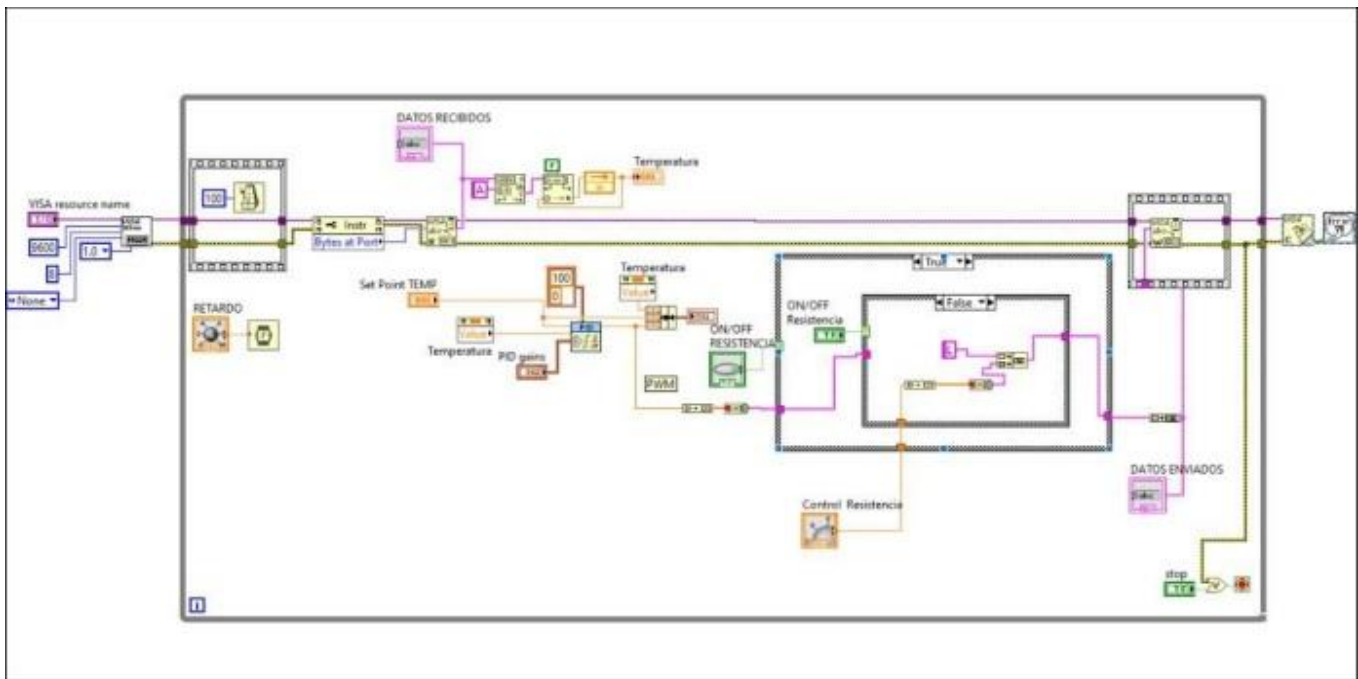


Fig. 7 Código de programación en Labview del Controlador PID para la variable temperatura.

C. Implementación del controlador secuencial

La implementación del controlador secuencial consistió en realizar un conjunto de secuencias para el proceso del bañado del can. Para ello, se comenzó con una programación en el módulo Arduino para controlar la activación o desactivación de las electroválvulas N° 2 y N° 3. Posteriormente, se realizó la programación en el LabVIEW utilizando la librería de

estructura de secuencia. Las secuencias programadas fueron: “Mojado”, “Ingreso de Shampoo” y “Enjuague”, en ese orden. Además, estas se ejecutaron una después de otra según el tiempo (en segundos) ingresado por el usuario.

De igual forma, la programación del controlador secuencial en LabVIEW consistió en asignar una letra a cada secuencia: (h): Mojar, (i): Shampoo y (j): Enjuague, que

fueron enviadas hacia el módulo Arduino. Luego, cuando el módulo Arduino recibió esta señal lo interpretó activando o desactivando la electroválvula correspondiente a cada secuencia. A continuación, la Tabla II muestra la relación de secuencias para la activación y desactivación de las electroválvulas según el orden que les corresponden; además, se puede observar que la electrobomba está activada durante toda la secuencia de bañado, debido a que se necesita transportar el agua del tanque a la bañera.

TABLA II
RELACIÓN DE SECUENCIAS PARA ACTIVACIÓN/DESACTIVACIÓN DE ELECTROVÁLVULAS

Letra	Secuencia	Electro- válvula 2	Electro- válvula 3	Bomba de Agua
h	Inicio- Mojar can	On	Off	On
i	Shampoo	Off	On	On
j	Enjuague	On	Off	Off
k	Fin de ciclo de bañado	Off	Off	Off

Fuente: elaboración propia

Seguidamente, en la figura 8 se muestra la representación de la interfaz de usuario desarrollada en el Panel Frontal del software Labview para el control secuencial.

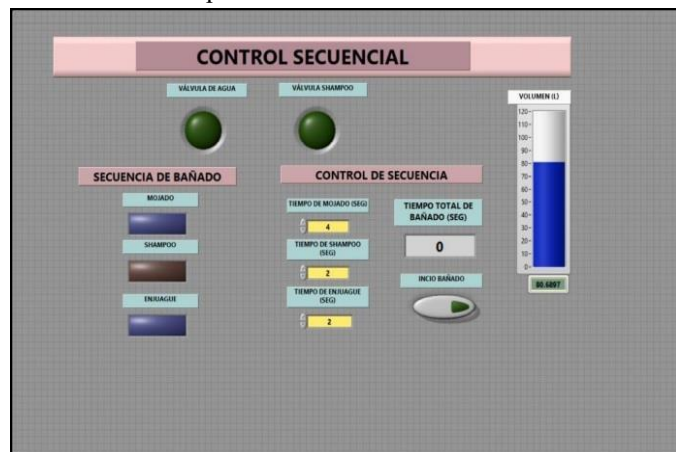


Fig. 8 Interfaz de usuario en el Panel Frontal para el control secuencial.

D. Desarrollo de la interfaz de usuario

El desarrollo de la interfaz de usuario fue realizado en el software Labview, y permitió integrar los controladores On-Off de nivel, PID de temperatura y el controlador secuencial. La figura 9 muestra la interfaz de usuario para el prototipo de bañera, desarrollado en la ventana Panel Frontal del Labview.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Respecto a las pruebas y resultados, seguidamente se muestran en forma separada por cada uno de los controladores. Finalmente, se comparten las pruebas finales con los tres controladores a la vez y la prueba real del baño para un can.

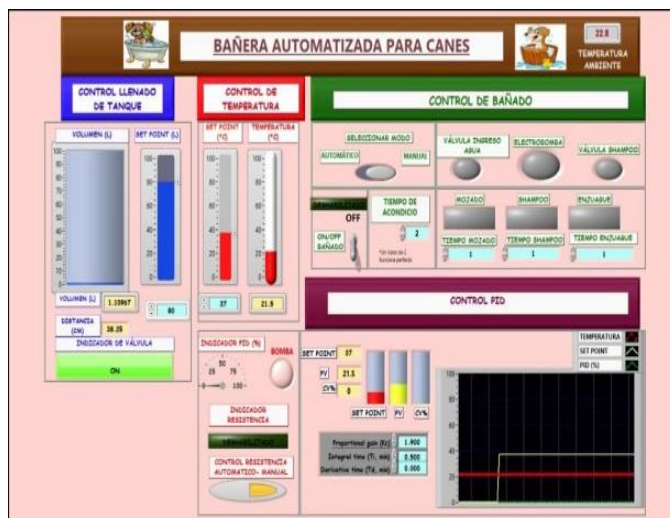


Fig. 9 Intefaz de usuario desarrollada en el software Labview.

A. Pruebas y resultados del controlador On-Off de nivel

Se realizaron 4 pruebas con el controlador On-Off de nivel utilizando 4 valores de Set Point diferentes: 20 litros, 40 litros, 60 litros y 80 litros; además, cada prueba inició con el tanque vacío. A continuación, en la Tabla III, se muestran los tiempos necesitados para llenar el tanque, así como el error de medición en litros.

TABLA III
RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTROLADOR ON-OFF DE NIVEL

Valores de Set Point (en litros)	Valor medido (en litros)	Error (en litros)	Tiempo de llenado (segundos)
20	21.79	1.79	84
40	41.39	1.39	189
60	60.13	0.13	312
80	80.42	0.42	431

Fuente: elaboración propia

B. Pruebas y resultados del controlador PID de temperatura

Se realizaron 3 pruebas con el controlador PID de temperatura utilizando 3 valores de Set Point diferentes: 25 °C, 30 °C y 37 °C, y donde cada prueba se inició con el tanque a 80 litros y a una temperatura inicial de 19.43 °C. A continuación, en la Tabla IV, se muestran los tiempos necesitados para llenar el tanque, así como el error de medición en litros.

TABLA IV
RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTROLADOR PID DE TEMPERATURA

Valores de Set Point (en °C)	Valor medido (en °C)	Error (en °C)	Tiempo de llenado (segundos)
25	24.94	-0.06	1185
30	30.19	0.19	1831
37	37.06	0.06	2721

Fuente: elaboración propia

C. Pruebas y resultados del controlador secuencial

Se realizaron 3 pruebas con el controlador secuencial utilizando diferentes valores de tiempo: 90 segundos, 120 segundos y 150 segundos. Estas pruebas representan el tiempo completo de bañado, y fueron realizadas con el tanque lleno en 80 litros de agua. A continuación, en la Tabla V, se muestran los resultados obtenidos del controlador secuencial mostrando la cantidad de agua consumida en función del tiempo programado en segundos, así como la cantidad de baños realizados.

TABLA V
RESUMEN DE RESULTADOS DEL CONTROLADOR SECUENCIAL

Tiempo (en segundos)	Volumen consumido (en Litros)	Cantidad de baños
90	16.33	4
120	28.64	3
150	34.54	2

Fuente: elaboración propia

D. Pruebas y resultados finales

Para la prueba final, participó el can de nombre “Ramón”, en donde se consideraron las siguientes condiciones: nivel de tanque igual a 80 litros y temperatura de agua igual a 37 °C. Asimismo, para el bañado se configuró un total de 110 segundos iniciando con un tiempo de mojado igual a 20 segundos, seguido de un tiempo de suministro de shampoo igual a 40 segundos, y finalizando con un tiempo de enjuagado igual a 50 segundos

Es así como, el programa inició con el llenado del tanque de agua a un Set Point de 80 litros, el cual tomó 432 segundos y se llenó hasta 84.83 litros. Al finalizar dicho llenado, se continuó con el calentamiento del agua a un Set Point de 37 °C. Luego, el tiempo transcurrido para alcanzar la temperatura deseada fue de 45 minutos logrando que la temperatura se estabilice en 37.25°C. Posteriormente, cuando la temperatura del agua llegó al Set Point se mostró la indicación al usuario que la bañera se encontraba lista para dar ingreso al can y así dar inicio al proceso de bañado.

A continuación, en la Tabla VI se muestra el presupuesto utilizado para la implementación del prototipo automatizado de bañera doméstica, propuesto en este trabajo.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se mostró el procedimiento del diseño e implementación de una bañera para canes utilizando una base de madera tipo OSB, una cabina de planchas de acrílico y una estructura de PVC. Asimismo, la bañera alcanzó una dimensión de 80 cm de largo, 60 cm de ancho y 65 cm de alto; además, este prototipo contó con un sensor de ultrasonido y un sensor de temperatura; así como también con 3 electroválvulas, una resistencia eléctrica y una

electrobomba. Adicionalmente, se utilizó un módulo Arduino como interfaz entre los componentes anteriores y la computadora donde fue implementado el controlador de la bañera utilizando el Labview. De igual modo, se instalaron 2 tanques de agua donde uno de ellos se usó para realizar los controles de Nivel y Temperatura del agua usada para el baño del can, y el otro tanque para recolectar los residuos del agua usada luego del baño del can. Igualmente, se logró la implementación y sintonización del controlador PID de temperatura utilizando un sensor sumergible de temperatura y una resistencia de inmersión para la calefacción del agua; tal controlador fue implementado en el software LabVIEW utilizando un módulo Arduino como interfaz entre el sensor, la resistencia y el propio controlador. La sintonización del controlador se realizó utilizando el método de prueba y error, y se obtuvieron las siguientes ganancias: Kp igual a 0.5, Ti igual a 0.001 y Td igual a 0.02. De esta manera, el controlador implementado logró calentar el agua a un Set Point de 37 °C en un tiempo de 45.35 minutos, logrando estabilizar a una temperatura de 37.0625 °C con un error de 0.0625 °C.

TABLA VI
PRESUPUESTO UTILIZADO EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROTOTIPO DE BAÑERA AUTOMATIZADA

Ítem	Materiales	Precio (S/.)
1	<u>Materiales electrónicos:</u> Sensores de Nivel y Temperatura, Arduino Uno, Válvula Solenoide, Tarjeta Dimmer, Indicadores Led, Cables jumpers, Módulo Relé, Relé de Estado Sólido, entre otros.	515.10
2	<u>Materiales eléctricos:</u> Llaves térmicas, Riel para llaves, Cables vulcanizados, Caja de Paso, Enchufes, Cinta aislante, Válvula check, Motor eléctrico, Resistencia sumergible, electrobomba de agua entre otros.	1,122.70
3	<u>Construcción del prototipo:</u> Tupo de PVC, Tricodos galvanizados, codos de PVC, adaptadores de PVC, Válvula de paso, Adaptador de manguera, Planchas de acrílico, Reservorios de agua, Pernos, Tuercas, Silicona, Regadera, Dispensador, entre otros.	1,245.90
4	<u>Servicio de ingeniería:</u> Servicio de instalación y puesta en funcionamiento: 10 días de labor.	1,500.00
TOTAL		4,383.70

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se realizó la implementación del controlador On-Off de nivel utilizando un sensor de ultrasonido para el llenado de uno de los tanques de agua. Tal controlador fue implementado en el software LabVIEW utilizando un módulo Arduino como interfaz de comunicación entre el sensor y el controlador, con ello se halló una ecuación que permitió convertir los datos enviados por el sensor, de centímetros a litros. Además, dicho controlador logró llenar el

tanque de agua a un Set Point de 80 litros en un tiempo de 7.18 minutos, y con un error de 0.420 litros de agua.

Finalmente, se logró implementar el control secuencial para el prototipo de bañera utilizando válvulas solenoides como actuadores, y fue programado en el software LabVIEW utilizando el módulo Arduino como tarjeta interfaz entre el controlador y los actuadores. Por lo cual, con el controlador secuencial implementado, por tiempo, se logró realizar un correcto funcionamiento de cada uno de los procesos “Mojado”, “Ingreso Shampoo” y “Enjuagado”. Igualmente, para la realización de las pruebas se implementó una interfaz amigable para el usuario, donde se unieron los 3 controladores anteriores permitiendo así la realización satisfactoria del baño del can sin crearle incomodidad o inseguridad. Por lo cual, la metodología empleada para la implementación del prototipo de bañera tomó como referencia lo indicado en [8] y [9] en cuanto a la disipación térmica y al uso de un controlador evitando el panel táctil por la interacción constante con el agua.

REFERENCIAS

- [1] C. García, “Diseño e implementación de un prototipo de bañera casera automatizada para canes y de bajo costo,” Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2022.
- [2] Y. Fuentes, “Diseño e Implementación de un módulo educativo para el control de temperatura,” Tesis de Grado, Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, Perú, 2017.
- [3] K. Bohórquez, D. Fonseca, y S. Gutiérrez, “Sistema didáctico para el control de nivel con tanques acoplados,” Tesis de Grado, Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería, Bogotá, Colombia, 2017.
- [4] D. Vizcaíno, “Diseño e Implementación de un Sistema de Calentamiento y Ahorro de Agua en Domicilios,” Trabajo de Titulación, Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, Quito, Ecuador, 2017.
- [5] L. Ayala, y R. Donoso, “Diseño, modelación, simulación e implementación de un sistema de control de temperatura para la ducha eléctrica”, Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Riobamba, Ecuador, 2015.
- [6] J. Agudelo, y M. Hernández, (2015) Control PID de nivel de agua usando LabVIEW y Arduino. (Artículo de Investigación). [Online]. Recuperado de https://www.academia.edu/32372926/Control_PID_Nivel_de_agua_usando_Lab_View_y_Arduino_Control_de_procesos_asistidos_por_PC
- [7] L. Matías, y A. Ruiz, “Diseño e Implementación de un sistema Programable para la Regulación de la Temperatura en una Regadera”, Tesis de Grado, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior en Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Ciudad de México, México, 2014.
- [8] J. Zhang, M. Zhang and J. Xu, "Research on Bathing Water Temperature Control Strategy and Model," 2021 IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), Chongqing, China, 2021, pp. 1423-1428, doi: 10.1109/IAEAC50856.2021.9390812.
- [9] L. Ding, X. Lin and P. Li, "Design and application of bathtub controller test system," 2009 IEEE International Workshop on Open-source Software for Scientific Computation (OSSC), Guiyang, China, 2009, pp. 153-156, doi: 10.1109/OSSC.2009.5416914.
- [10] C. Delgado, y J. Quinte, “Implementación de un módulo de control de razón con un controlador PI para controlar la proporción de mezclado de dos flujos,” Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú, 2018.
- [11] D. Arteaga, E. Tobar, “Diseño e implementación de módulos de entrenamiento con aplicaciones de control PID de un caldero de una cámara de estabilidad utilizando la interface NI MYDAQ y el software LabVIEW,” Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Facultad de Ingenierías, Guayaquil, Ecuador, 2014.
- [12] P. F. H. Navarrete, "Didactic module of temperature control with Labview, to support the teaching in engineering subject," 2019 International Symposium on Engineering Accreditation and Education (ICACIT), Cusco, Peru, 2019, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICACIT46824.2019.9130199.
- [13] S. M. Sundaram, "Design of virtual process control laboratory (VPCL) using first principle method and interactive PID control toolkit using Labview," 2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Phuket, Thailand, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICITEE.2017.8250460.
- [14] Instrumentación y Control (2021). ¿Qué valores iniciales usar en un PID? [Online]. Recuperado el 15 de junio del 2021, de <https://instrumentacionycontrol.net/que-valores-iniciales-usar-en-un-pid/>
- [15] L. Ying, "The Simulation Design of PID Control Based on LabVIEW and MATLAB," 2018 International Symposium in Sensing and Instrumentation in IoT Era (ISSI), Shanghai, China, 2018, pp. 1-8, doi: 10.1109/ISSI.2018.8538212.
- [16] A. Masoumian, P. Kazemi, M. C. Montazer, H. A. Rashwan and D. P. Valls, "Designing and Analyzing the PID and Fuzzy Control System for an Inverted Pendulum," 2020 6th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE), Barcelona, Spain, 2020, pp. 199-203, doi: 10.1109/ICMRE49073.2020.9065161.