

Guía de laboratorio de control, integrado con IoT

1. Preliminares

1.1. Introducción

El laboratorio de control posee en funcionamiento dos experimentos, un levitador neumático y una planta virtual de nivel de agua en un tanque, los cuales pueden ser manipulados por el estudiante desde sus dispositivos móviles. El presente informe indica de que manera puede ser utilizado el laboratorio por parte de los usuarios, resaltando el funcionamiento de la interfaz gráfica, los datos a enviar, su funcionamiento dentro de los experimentos y las partes que componen cada uno.

1.2. Objetivos de los experimentos

- Reforzar los conceptos vistos en clase de control, teniendo en cuenta como estos pueden ser aplicados en una planta real.
- Verificar de manera física como la variación de valores como, amplitud de la referencia, periodo del paso, constante proporcional, constante integral y constante derivativa, juegan un papel importante en el comportamiento de los experimentos.
- Interpretar los resultados obtenidos de manera gráfica y de manera visual, por medio del laboratorio.
- Acercar al estudiante al concepto del internet de las cosas, demostrando su utilidad y puesta en marcha por medio del intercambio de información entre el usuario y los experimentos.

2. Experimentos

2.1. Experimento uno

Se espera que con este experimento el estudiante obtenga la habilidad de interpretar como los cambios (aumento o disminución) en las constantes del PID afectan de manera instantánea la respuesta de la planta, teniendo en cuenta que la señal de control (en bits) indica la cantidad de tensión que llega hacia el ventilador por medio del PWM.

El experimento uno consta de un levitador neumático. Este posee como módulos constructivos los siguientes elementos.

- tubo acrílico 60 cm.
- Soporte del tubo y del ventilador realizado en impresión 3D.
- Base para el arduino, NodeMCU y para el soporte superior en impresión 3D.
- Ventilador 12 Voltios y 2 Amperios.
- Sensor láser (VL53L0X)

- Arduino UNO
- NodeMCU rev 3.0
- Shield de Arduino con circuito de control del ventilador.
- elemento levitante realizado con Legos.

En la siguiente figura se puede apreciar la planta que conforma el experimento.

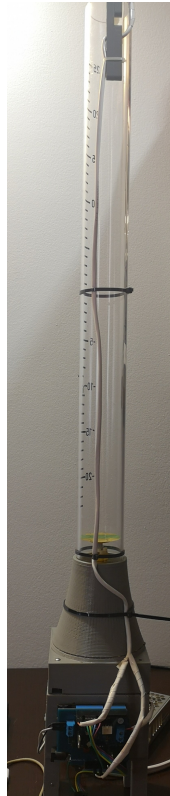


Figura 1: Levitador neumático

El Arduino contiene un programa con el controlador PID y una salida PWM, el NodeMCU posee en su software la capacidad de enviar datos de manera inalámbrica al servidor por medio del protocolo MQTT y de manera alámbrica al Arduino, esto último por medio del protocolo SPI.

El programa que contiene el Arduino realiza la medición de distancia por medio del sensor láser, verificando en que posición está el objeto levitante. Se crea una referencia (paso) la cual indica el valor al cual el objeto debe estabilizarse, en centímetros. Se ingresa a la rutina de control, donde se controla el sistema por medio de un controlador PID, el cual se utiliza para entregar el valor de la señal de control en voltios, lista para ser utilizada en el PWM que maneja la tensión del ventilador. En este punto es importante tener en cuenta dos cosas, la primera, el valor de la señal de control ingresa a una función que 'satura' la variable, ya que el PWM funciona con valores entre 0 y 1024, puede ser posible que el PID entregue un valor en bits superior a 1024 o inferior a 0, por lo cual es necesario limitar la variable, segundo, el laboratorio permite el cambio en los valores de las constantes del PID (constante proporcional, integral y derivativa) para verificar así, como un cambio en estas cantidades afecta la señal de control y por ende, el valor de la tensión que llega

al ventilador. Para comprender de forma clara el funcionamiento explicado en el párrafo, se puede observar en la siguiente imagen el lazo de control.

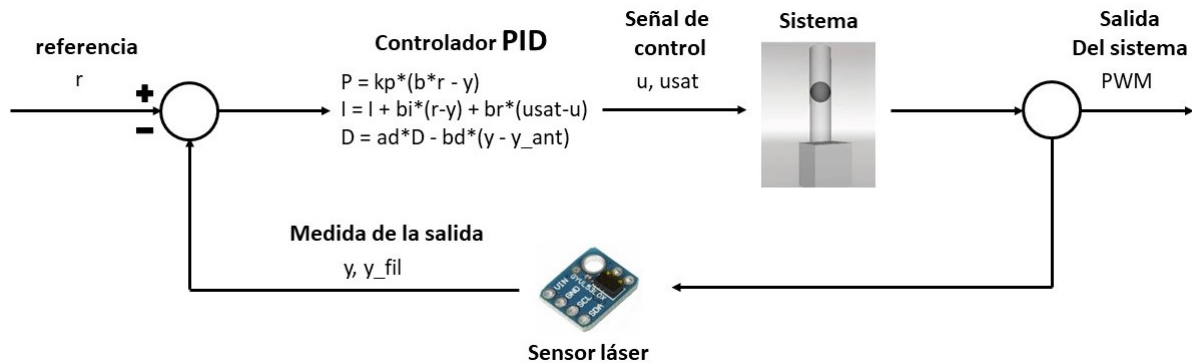


Figura 2: Lazo de control levitador neumático

Como se indico en un principio, la comunicación entre el arduino y el NodeMCU se hace por medio del protocolo SPI, claramente el código que contiene el Arduino posee la rutina de comunicación, sin embargo, como esta es necesaria para la obtención de los valores que envía el usuario desde el navegador, se ejecuta cada cierto tiempo, para que no exista interrupción entre la llegada de los datos y la rutina de control.

La principal ventaja de este experimento se encuentra en el tiempo de respuesta, ya que la planta tiene la capacidad de mostrar instantáneamente como las variaciones de los valores enviados pueden afectar el comportamiento de manera automática, por ejemplo, al aumentar o disminuir el valor de la referencia, se observa como el levitador instantáneamente envía el objeto levitante al punto indicado.

A modo de ejemplo, se pueden realizar el siguiente par de variaciones, e interpretar los resultados de acuerdo a los conocimientos teóricos de la asignatura.

- **Prueba uno:** Mejorar la respuesta que tiene el levitador por defecto, realizando la variación de las constantes así:

$$\begin{aligned} k_p &= 0.4 \\ k_d &= 0.07 \\ k_i &= 0.27 \end{aligned}$$

- **Prueba dos:** Verificar una oscilación en el elemento levitante, variando los valores de las constantes así:

$$\begin{aligned} k_p &= \text{No variar} \\ k_d &= 0 \\ k_i &= 0 \end{aligned}$$

Finalmente, se espera que el estudiante sepa interpretar las consecuencias de las variaciones que se realicen, así como generar y enviar nuevos valores de acuerdo al conocimiento obtenido en sistemas de control.

2.2. Experimento dos

Se construyó una segunda planta, sin embargo, este sistema es virtual, es decir, su construcción se hace netamente de forma matemática en el código programado en la placa Arduino, simulando el nivel de llenado de un tanque. Al no existir módulos físicos no se dará incapie en la construcción del sistema. En la siguiente figura se puede apreciar el lazo de control construido para el experimento.

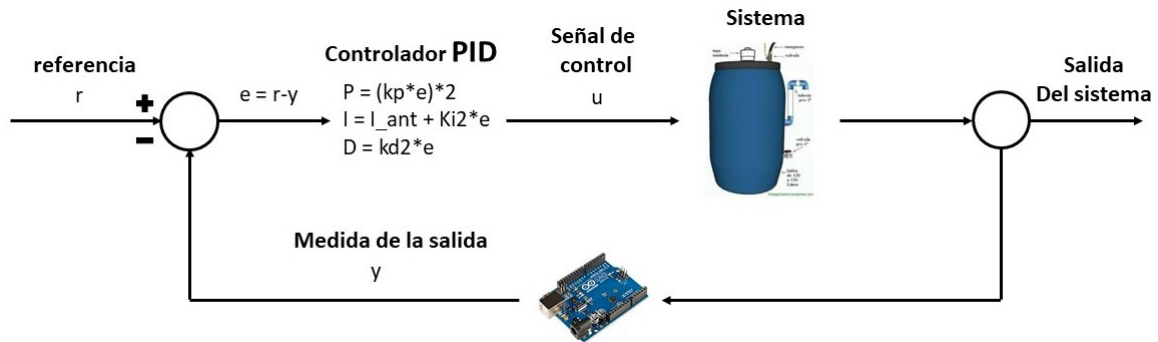


Figura 3: Lazo de control tanque

El código interno del Arduino es similar al del experimento uno, teniendo una función específica para realizar la comunicación SPI con el NodeMCU, así como la rutina de control que se ejecuta cada cierto tiempo por medio de interrupciones software. La principal diferencia radica en la construcción del controlador PID (como se puede apreciar en la figura 2 y 3, los valores P, I y D son diferentes). Así mismo, el valor de la referencia no es positivo y negativo, para este caso es positivo y cero.

Finalmente, se pueden realizar variaciones de las constantes proporcional, integral y derivativa para este experimento. A modo de ejemplo, se puede mejorar la respuesta del sistema con los siguientes valores.

$k_p = 3$
 $k_i = 1.4$
 $k_d = 1.6$

3. Uso del servidor

El usuario puede interactuar con los experimentos desde cualquier dispositivo que tenga conexión a internet. Para poder realizar la conexión al servidor, es necesario utilizar un navegador como chrome, mozilla o edge (internet explorer y el navegador propio de algunos dispositivos móviles pueden tener problemas de compatibilidad). Para poder realizar la conexión basta con escribir en el espacio de direccionamiento de páginas la dirección IP del dispositivo que se este utilizando como servidor en ese momento, en cuyo caso para el Raspberry Pi es 192.168.4.1:3000

Una vez se ingresa al laboratorio, se presenta una página de bienvenida, como en la siguiente imagen.

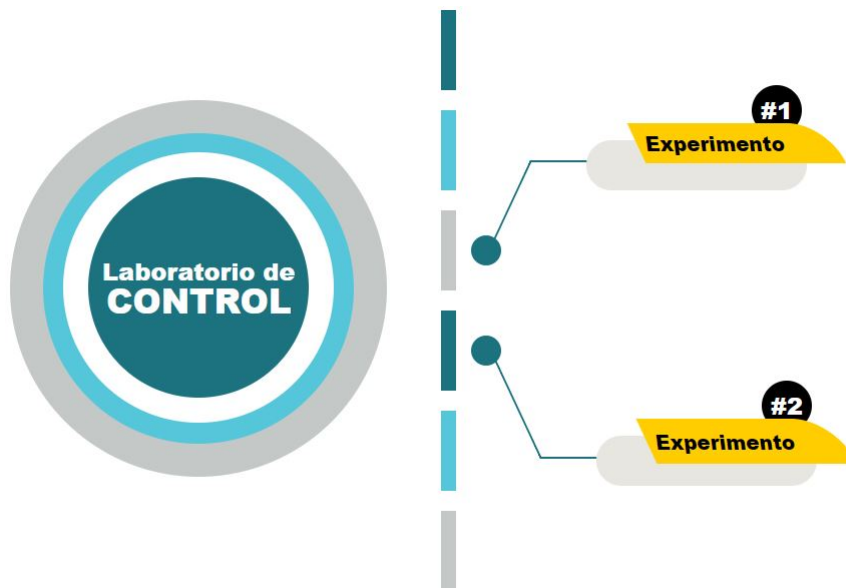


Figura 4: Página bienvenida laboratorio

Allí se puede escoger cualquiera de los dos experimentos. Cuando el usuario hace la selección, el servidor envía un dato de confirmación al NodeMCU del experimento, indicándole que puede empezar con el envío de datos por medio del protocolo MQTT. Esto se hace con el fin de evitar una comunicación en doble vía, es decir, para evitar que ambos experimentos envíen datos al tiempo y exista conflicto en las gráficas generadas. De acuerdo a lo anterior, si un usuario selecciona el experimento uno, el botón respectivo al experimento dos se bloqueará. Para que vuelva a estar disponible, es necesario que todos los clientes salgan del experimento uno.

Una vez se ingresa al experimento, se puede apreciar la siguiente interfaz.

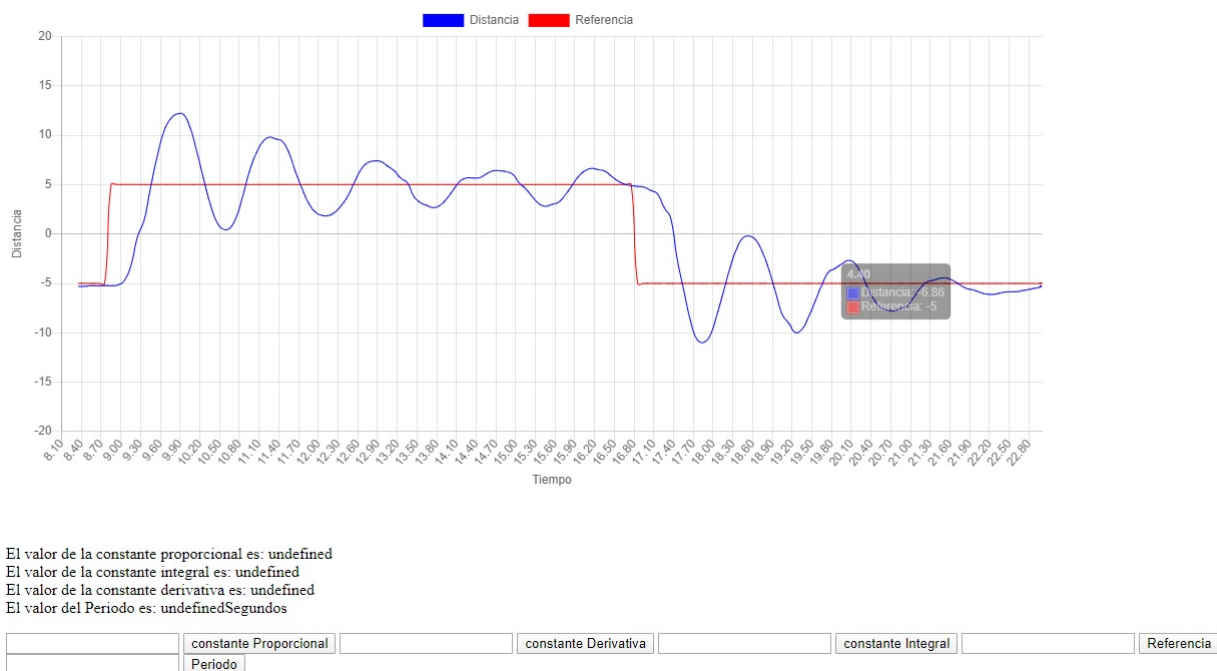


Figura 5: Página primer experimento

Para ambos experimentos la interfaz posee las mismas funciones, el único cambio que se tiene es en los títulos de los datos graficados y el título de la gráfica.

La interfaz es bastante intuitiva, en la parte superior se tiene un botón denominado 'volver al home' que permite volver a la página principal (selección de experimentos). Seguido de este se observan los ejes que permiten visualizar la gráfica generada cuando el experimento esta en uso, en la parte superior de dicha gráfica se observan dos rectángulos de color rojo y azul que indican el color que posee cada elemento que se visualiza a la hora de mostrar los datos. El eje x se toma como el eje del tiempo, a medida que el experimento avanza, el eje se va moviendo hacia la izquierda, mostrando los resultados en un rango específico, cada división tiene 300 milisegundos.

Finalmente en la parte inferior están los botones y las casillas que permiten la interacción por parte del usuario con los experimentos. Se tienen 5 casillas, así como 5 botones, cada uno perteneciente a la casilla dispuesta inmediatamente a la izquierda. De acuerdo al botón presionado, se envía el dato que el usuario ingresó. Se pueden ingresar números de punto flotante, no se permiten caracteres como letras ni tampoco palabras completas, el número se debe ingresar con la notación de punto, ejemplo, 4.5; tampoco es posible ingresar un valor inferior a 1 sin el cero que le antecede a la izquierda, es decir, se debe ingresar 0.5, por dar un ejemplo. A continuación se indica cada casilla y su respectivo dato a enviar, de izquierda a derecha.

- **Constante Proporcional:** El valor enviado por este medio se guarda en el Arduino en la variable k_p , necesaria para los cálculos de la parte proporcional del PID. Se puede enviar un valor de punto flotante, consecuente con los rangos de valores para la constante proporcional.
- **Constante Derivativa:** El valor enviado por este medio se guarda en el Arduino en la variable k_d , necesaria para los cálculos de la parte derivativa del PID. Se puede enviar un valor de punto flotante, consecuente con los rangos de valores para la constante derivativa.
- **Constante Integral:** El valor enviado por este medio se guarda en el Arduino en la variable k_i , necesaria para los cálculos de la parte integral del PID. Se puede enviar un valor de punto flotante, consecuente con los rangos de valores para la constante integral.
- **Referencia:** Este valor esta limitado por la planta física, por ejemplo, para el levitador indica la cantidad de cm a la cual se desea llegar desde el cero de referencia, es recomendable no exceder los 20 cm. ya que el objeto levitante puede llegar a estar posicionado muy cerca al sensor láser y esto significa que no habrá lectura. Se puede enviar un valor de punto flotante.
- **Periodo:** El periodo indica el tiempo que tendrá la onda cuadrada tanto para el valor positivo como para el negativo (haciendo el símil con una onda normal, en este caso el usuario estaría indicando la mitad del periodo, no el periodo completo). El valor que el cliente envía, el Arduino lo interpreta como la cantidad de segundos que ha de tener la onda cuadrada, por ello es importante limitar este valor a solamente una cifra decimal. Para el primer experimento se debe enviar el valor en segundos, para el segundo experimento, este debe ser indicado en milisegundos (4 segundos = 4000 milisegundos).

Como el servidor del laboratorio permite la comunicación por medio de WebSockets, el paso de datos se hace en tiempo real, una vez el usuario envía la información, esta llega de forma inmediata al servidor y se envía directamente al Arduino.

4. Información extra

Para consultar información extra, se puede referir al repositorio en GIT del laboratorio, donde se encuentra otra guía de explicación y los códigos utilizados.

<https://github.com/jucramirezay/LaboratorioControl>