

## UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE QUERÉTARO

### MATERIA:

Control automático

### ACTIVIDAD:

"Implementación de un control en lazo cerrado con PID"

### FECHA DE ENTREGA:

13-agosto-2022

### PROFESOR:

M.C.yT. Tito Villalobos Cruz

### GRUPO: ITA05-M

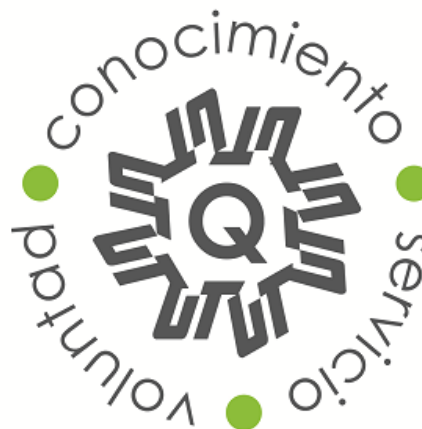
**CARRERA:** Ingeniería en Tecnologías de Automatización y Mecatrónica

### ALUMNOS:

Mejía Cabello Axel Orlando (2019348109)

Nieto Lara Leonel (2019348155)

Zamudio Cárdenas Roberto (2019348140)



### “Implementación de un control en lazo cerrado con PID”

## Introducción

A lo largo de la historia el ser humano se ha visto en la necesidad de controlar diversos sistemas que hacen interacción con variables físicas que pueden ser reguladas, tal como lo son la temperatura, nivel, posición, presión, entre otras; esto permitiéndoles hacer mas simples y sencillas algunas actividades de procesos, principalmente pertenecientes al índole industrial, con lo cual se ha observado que todo esto ha traído bastantes beneficios como lo es la calidad y velocidad con la que se desarrollan las actividades que se ven involucradas con estos procesos.

Un controlador PID (controlador proporcional, integral y derivativo) es un mecanismo de control simultáneo por realimentación ampliamente usado en sistemas de lazo cerrado. Este calcula el error entre un valor medido y un valor deseado donde se configuran dichas variables para obtener un estado de salida deseado, una ventaja que posee este tipo de control es que puede ser implementado fácilmente en la industria, ya que se puede aplicar un proceso a pesar de no tener absoluto conocimiento de este.

## Justificación

La implementación de sistemas de control en lazo cerrado es muy importante ya que gracias a ellos se puede tener un mejor dominio sobre las variables con las que se encuentre trabajando, además de que permiten un mejor control del tiempo de respuesta y ayudan a aumentar la precisión de la respuesta junto con la rapidez, que también es posible configurar.

## Objetivos

- Implementar un sistema de control PID para el dominio de la variable de posición en una planta de bola y barra por medio de un microcontrolador Arduino y una interfaz gráfica en Labview.
- Desarrollar una planta de barra y bola para ayudar a ejemplificar el control de la variable de distancia, esto con la ayuda un sensor ultrasónico y un servomotor.

## Alcances

En el presente proyecto se realizó un prototipo de una planta barra y bola que funciona mediante el giro de un servomotor, para controlar la inclinación de la barra y con ello la posición a la cual se coloca la bola, para el actuador se usó un respectivo control PID con el fin de garantizar una posición adecuada.

### Fundamentación teórica

#### Sistema de control automático

Es aquel conjunto de técnicas y herramientas que permiten mantener una condición física o cantidad medible en un valor deseado. Para ello, se vale de una medición instantánea de la variable a controlar y de una comparación con un valor patrón o de referencia, para que, de esta manera, se pueda reducir o aumentar el valor de la variable medida mediante una acción correctiva.

#### Tipos de sistemas de control automático

Los más comunes son los sistemas de control a lazo abierto y los sistemas de control a lazo cerrado.

##### Lazo abierto

Es aquel sistema de control automático en el que la salida no es afectada por la señal de entrada. La salida no se realimenta para compararla con la entrada. Los elementos de un sistema a lazo abierto usualmente están divididos en dos partes, el controlador y el proceso controlado.

##### Sistema de control a lazo cerrado (control realimentado)

El controlador se alimenta de la señal de error de desempeño, la cual representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término lazo cerrado siempre indica una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

#### Componentes de los sistemas de control automático

Un sistema de control automático está compuesto por los siguientes elementos:

##### Regulador

Constituye el elemento fundamental en un sistema de control automático, pues determina el comportamiento del bucle, ya que, condiciona la acción del elemento actuador en función del error obtenido.

##### Transductor o captador

El transductor es un dispositivo que transforma el efecto de una causa física, como la presión, la temperatura, la dilatación, la humedad, etc; en otro tipo de señal. Es decir, este dispositivo toma una variable de entrada y produce una salida de otra naturaleza.

Los transductores se clasifican por dos funciones:

a. En función de sus características estructurales

- Directos: Se colocan directamente en contacto con el punto cuya variable se va a medir.
- Indirectos: Se sitúan alejados del punto de medición, pero se comunican con éste mediante una línea de transmisión con una terminal situada en el espacio cuya variable deseamos medir.

b. En función de su comportamiento

- Activos: Los traductores activos son aquellos que no requieren suministro de energía para operar.
- Pasivos: Los traductores pasivos son aquellos que sí requieren suministro de energía para operar.

### Comparador o detector de errores

Su función es comparar la señal de referencia y la señal de realimentación y calcular el error que existe entre la respuesta deseada y el estado real del sistema de control automático. A partir de ese error se puede conseguir llevar al sistema al estado deseado.

### Accionador o actuador

El actuador es un dispositivo que transforma la energía hidráulica, neumática o eléctrica para realizar una función que genera un efecto sobre un proceso. El actuador recibe la señal desde un controlador y en función a ella activa un elemento final de control; por ejemplo, una válvula.

Existen principalmente distintos tipos de actuadores según el tipo de señal de control que se emplee, entre ellos:

**Eléctricos.** En este actuador, su principal señal de control es la energía eléctrica.

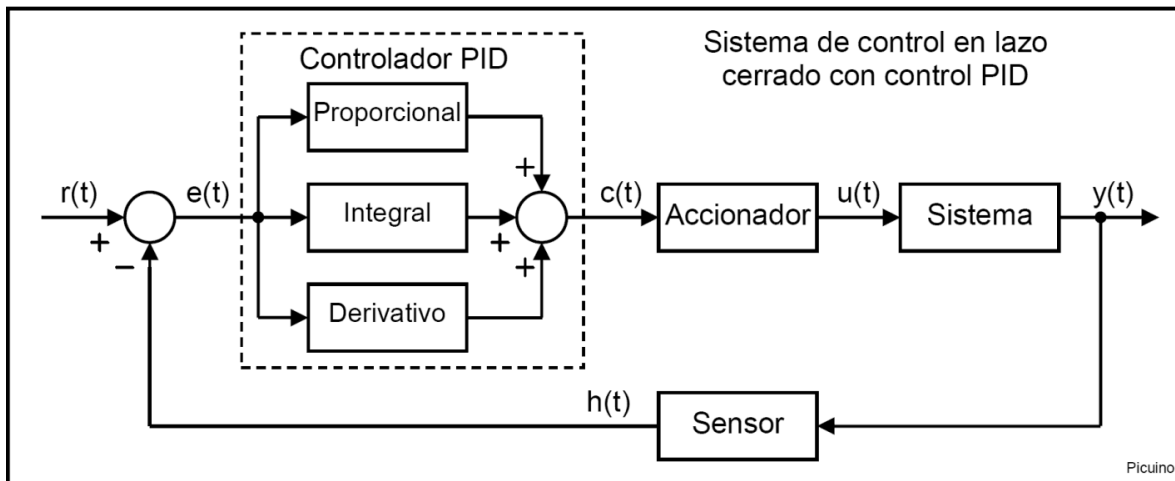
**Neumáticos.** La señal de control de este tipo de actuador es el aire.

**Hidráulicos.** La señal de control es un fluido, normalmente algún tipo de aceite mineral.

**Electrónicos.** La electrónica de potencia permite controlar la alimentación de otros equipos, la velocidad y el funcionamiento de máquinas eléctricas, con el empleo de dispositivos electrónicos, tales como los semiconductores.

### Controlador PID

Un controlador o regulador PID es un dispositivo que permite controlar un sistema en lazo cerrado para que alcance el estado de salida deseado. El controlador PID está compuesto de tres elementos que proporcionan una acción Proporcional, Integral y Derivativa. Estas tres acciones son las que dan nombre al controlador PID.



Sistema de control en lazo cerrado con controlador PID

### Señal de referencia y señal de error

La señal  $r(t)$  se denomina referencia e indica el estado que se desea conseguir en la salida del sistema  $y(t)$ . En un sistema de control de temperatura, la referencia  $r(t)$  será la temperatura deseada y la salida  $y(t)$  será la temperatura real del sistema controlado.

La entrada al controlador PID es la señal de error  $e(t)$ . Esta señal indica al controlador la diferencia que existe entre el estado que se quiere conseguir o referencia  $r(t)$  y el estado real del sistema medido por el sensor, señal  $h(t)$ .

Si la señal de error es grande, significa que el estado del sistema se encuentra lejos del estado de referencia deseado. Si por el contrario el error es pequeño, significa que el sistema ha alcanzado el estado deseado.

### Acción de control Proporcional

Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la señal de error  $e(t)$ . Internamente la acción proporcional multiplica la señal de error por una constante  $K_p$ .

Esta acción de control intenta minimizar el error del sistema. Cuando el error es grande, la acción de control es grande y tiende a minimizar este error.

Aumentar la acción proporcional  $K_p$  tiene los siguientes efectos:

- Aumenta la velocidad de respuesta del sistema.
- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema.

Los dos primeros efectos son positivos y deseables. El último efecto es negativo y hay que intentar minimizarlo. Por lo tanto, al aumentar la acción proporcional existe un punto de equilibrio en el que se consigue suficiente rapidez de respuesta del sistema y reducción del

error, sin que el sistema sea demasiado inestable. Aumentar la acción proporcional más allá de este punto producirá una inestabilidad indeseable. Reducir la acción proporcional, reducirá la velocidad de respuesta del sistema y aumentará su error permanente.

### Acción de control Derivativa

Como su nombre indica, esta acción de control es proporcional a la derivada de la señal de error  $e(t)$ . La derivada del error es otra forma de llamar a la "velocidad" del error. A continuación, se verá porqué es tan importante calcular esta velocidad. En las gráficas anteriores, cuando la posición se encuentra por debajo de 150mm, la acción de control proporcional siempre intenta aumentar la posición. El problema viene al tener en cuenta las inercias. Cuando el sistema se mueve a una velocidad alta hacia el punto de referencia, el sistema se pasará de largo debido a su inercia. Esto produce un sobrepulso y oscilaciones en torno a la referencia. Para evitar este problema, el controlador debe reconocer la velocidad a la que el sistema se acerca a la referencia para poder frenarle con antelación a medida que se acerque a la referencia deseada y evitar que la sobrepase.

Aumentar la constante de control derivativa  $K_d$  tiene los siguientes efectos:

- Aumenta la estabilidad del sistema controlado.
- Disminuye un poco la velocidad del sistema.
- El error en régimen permanente permanecerá igual.

Esta acción de control servirá por lo tanto para estabilizar una respuesta que oscile demasiado.

### Acción de control Integral

Esta acción de control como su nombre indica, calcula la integral de la señal de error  $e(t)$ . La integral se puede ver como la suma o acumulación de la señal de error. A medida que pasa el tiempo pequeños errores se van sumando para hacer que la acción integral sea cada vez mayor. Con esto se consigue reducir el error del sistema en régimen permanente. La desventaja de utilizar la acción integral consiste en que esta añade una cierta inercia al sistema y por lo tanto le hace más inestable.

Aumentar la acción integral  $K_i$  tiene los siguientes efectos:

- Disminuye el error del sistema en régimen permanente.
- Aumenta la inestabilidad del sistema.
- Aumenta un poco la velocidad del sistema.

Esta acción de control servirá para disminuir el error en régimen permanente.

### Sintonización manual de un controlador PID

#### 1º - Acción Proporcional.

- Se aumenta poco a poco la acción proporcional para disminuir el error (diferencia entre el estado deseado y el estado conseguido) y para aumentar la velocidad de respuesta.
- Si se alcanza la respuesta deseada en velocidad y error, el PID ya está sintonizado.
- Si el sistema se vuelve inestable antes de conseguir la respuesta deseada, se debe aumentar la acción derivativa.

#### 2º - Acción Derivativa.

- Si el sistema es demasiado inestable, se aumentará poco a poco la constante derivativa  $K_d$  para conseguir de nuevo estabilidad en la respuesta.

#### 3º - Acción Integral.

- En el caso de que el error del sistema sea mayor que el deseado, se aumentará la constante integral  $K_i$  hasta que el error se minimice con la rapidez deseada.
- Si el sistema se vuelve inestable antes de conseguir la respuesta deseada, se debe aumentar la acción derivativa.

### Método de Ziegler-Nichols

El método de Ziegler-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un controlador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o del sistema controlado. Estas reglas de ajuste propuestas por Ziegler y Nichols fueron publicadas en 1942 y desde entonces es uno de los métodos de sintonización más ampliamente difundido y utilizado. Los valores propuestos por este método intentan conseguir en el sistema realimentado una respuesta al escalón con un sobrepulso máximo del 25%, que es un valor robusto con buenas características de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas.

El método de sintonización de reguladores PID de Ziegler-Nichols permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema.

### Sintonización por la respuesta al escalón

Este método de sintonización se adapta bien a los sistemas que son estables en lazo abierto y que presentan un tiempo de retardo desde que reciben la señal de control hasta que comienzan a actuar.

Para poder determinar la respuesta al escalón de la planta o sistema controlado, se debe retirar el controlador PID y sustituirlo por una señal escalón aplicada al accionador.

Control	Kp	Ki	Kd
P	$K_o$		
PI	$0,9 \cdot K_o$	$0,27 \cdot K_o / T_1$	
PD	$1,6 \cdot K_o$		$0,60 \cdot K_o \cdot T_1$
PID	$1,2 \cdot K_o$	$0,60 \cdot K_o / T_1$	$0,60 \cdot K_o \cdot T_1$

### Sintonización por la ganancia crítica en lazo cerrado

Este método no requiere retirar el controlador PID del lazo cerrado. En este caso solo hay que reducir al mínimo la acción derivativa y la acción integral del regulador PID. El ensayo en lazo cerrado consiste en aumentar poco a poco la ganancia proporcional hasta que el sistema oscile de forma mantenida ante cualquier perturbación. Esta oscilación debe ser lineal, sin saturaciones. En este momento hay que medir la ganancia proporcional, llamada ganancia crítica o  $K_c$ , y el periodo de oscilación  $T_c$  en segundos.

Control	Kp	Ki	Kd
P	$0,50 \cdot K_c$		
PI	$0,45 \cdot K_c$	$0,54 \cdot K_c / T_c$	
PD	$0,80 \cdot K_c$		$0,075 \cdot K_c \cdot T_c$
PID	$0,59 \cdot K_c$	$1,18 \cdot K_c / T_c$	$0,075 \cdot K_c \cdot T_c$



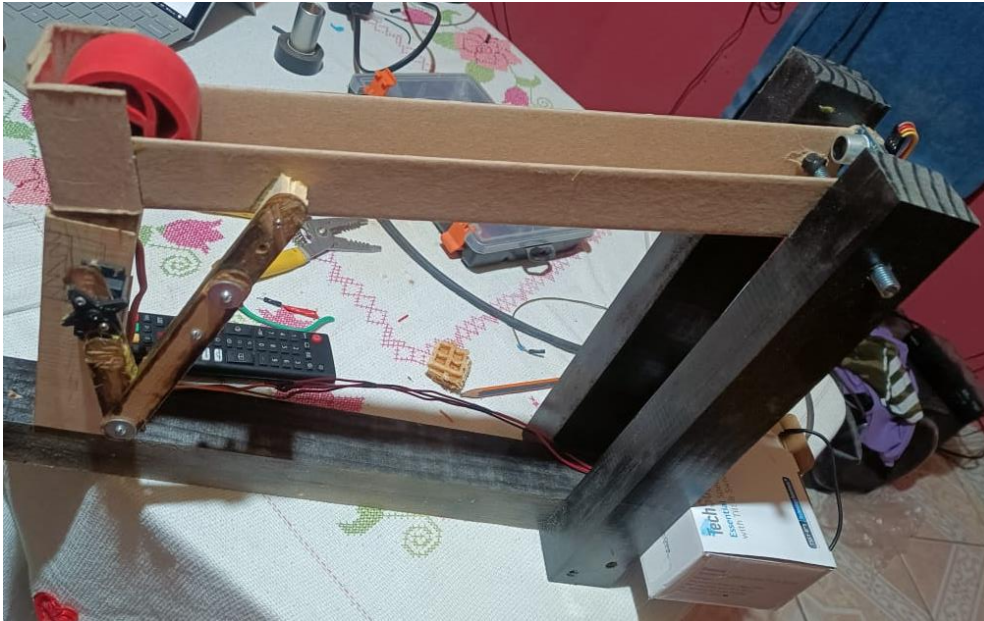
### Plan de actividades

#	Actividad	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Semana 9	Semana 10
1	Análisis de las variables a controlar										
2	Estudio del estado del arte										
3	Diseño mecánico										
4	Diseño de sistemas electrónicos del proyecto										
5	Lista de materiales										
6	Compra de materiales										
7	Modelo de comportamiento										
8	Fabricación de la maqueta y sistemas mecánicos										
9	Pruebas de sistemas mecánicos										
10	Ajustes mecánicos.										
11	Programación de microcontrolador										
12	Programación de interfaz grafica										
13	Pruebas de comunicación entre microcontrolador e interfaz grafica										
14	Integración de los sistemas u elementos										
15	Pruebas										
16	Ajustes finos										
17	Optimización de código										
18	Entrega y demostración										

### Desarrollo del proyecto

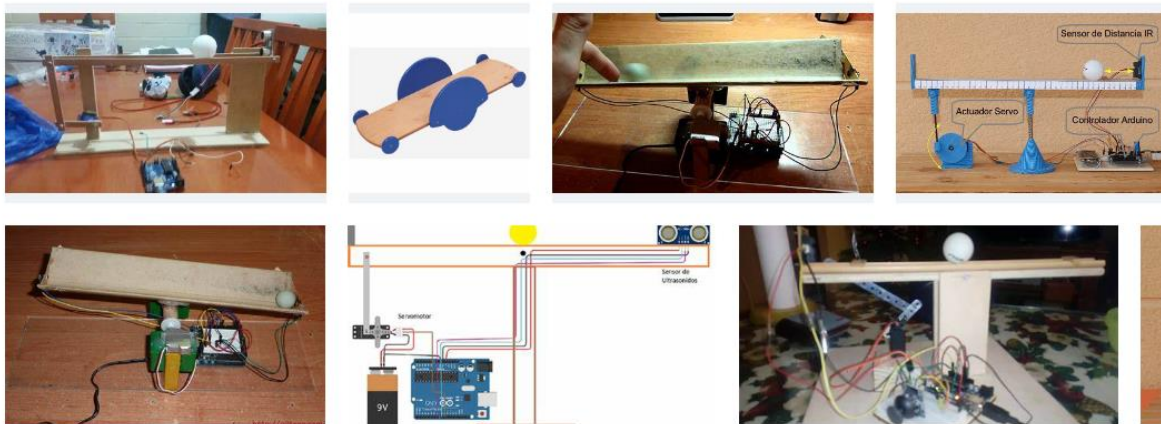
#### Análisis de la variable a controlar

En este caso nuestra variable a controlar fue la distancia a la que se tenía que estabilizar un objeto (rulo) sobre una balanza, dicha balanza será controlada por medio de un servomotor ya sea subiéndola o bajándola dependiendo a las mediciones obtenida por nuestro sensor (Sensor ultrasónico de distancia).



### Estudio del diseño del arte

Posteriormente se hizo un estudio del estado del arte que no es más que el conjunto de saberes o el desarrollo que se ha conseguido en el área que se va a investigar. Su función entonces es la de reunir todas las fuentes de información que han versado sobre el tema a tratar, para así evitarle a un autor la repetición de juicios o investigaciones ya hechas o, en el peor de los casos, que se caiga en un error que ya ha sido superado por otros autores a lo largo del tiempo.



Al culminar el estudio del estado del arte nos dimos cuenta de que había algunos proyectos similares ya desarrollados con antigüedad, con los cuales fuimos recabando información y de esa manera desarrollamos nuestro proyecto tomando en cuenta los puntos buenos de cada una y así evitar los errores cometidos en los proyectos anteriores por los autores.

### Diseño mecánico y fabricación

Gracias a la información recabada en el estudio del arte pudimos diseñar nuestro balancín de manera que cumpla con el objetivo deseado y teniendo los menores errores posibles.

En la imagen se muestra el diseño final de nuestra maqueta tomando en cuenta la distancia a medir el ancho de nuestra guía para el rulo, la posición de nuestro brazo para que alcance a bajar y subir lo requerido por nuestro sistema.



### Pruebas y ajustes mecánicos

Una vez terminada la maqueta se procedió a realizar las pruebas mecánicas, en las cuales se elaboró un pequeño código donde se posicionaba de manera manual en la posición más abajo posible, después de manera que esté completamente a nivel y por último donde este arriba, esto para saber si la posición de nuestro brazo era el correcto o se necesitaba algún ajuste mecánico.

```
#include <Servo.h>

Servo myservo; // create servo object to control a servo
// twelve servo objects can be created on most boards

//int pos = 90;    // variable to store the servo position

void setup() {
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
}

void loop() {

  int pos = 100;    // variable to store the servo position
  myservo.write(60);
  delay(1000);
  myservo.write(100);
  delay(1000);
  myservo.write(140);
  delay(1000);
}
```



Efectivamente nuestro brazo solo subía muy poco la balanza por lo cual se le tuvo que hacer una extensión para que tuviera más rango, una vez esto echo nuestro sistema funciono de la manera esperada.

### Sintonización

para la sintonización se hizo uso del método e Ziegles Nichols, en nuestro caso tuvimos que hacer los cálculos ya que la primera vez se nos rompió el brazo y al colocarlo de nuevo cambiaron los valores, la segunda vez cambiamos de servo y de igual manera se nos movieron los valores

### cálculos:

Ganancia crítica ( $K_u$ )			2.7	2.5
$K_u = 3.8$				
Periodo critico ( $P_u$ )			1.25	
$P_u =$				
$40 \times 65 \times 10^{-3} = 2.65$			2.5	
$K_P$	$T_i$	$T_d$		
$0.6 K_u$	$0.5 P_u$	$0.125 P_u$		
$0.6(3.8)$	$(0.5)(2.6)$	$0.125(2.6)$		
2.28	1.3	0.325		
1.62	1	0.25		
1.5	0.6	0.15		

### programación

Microcontrolador:

Para este proyecto se utilizó el microcontrolador Arduino Uno, en él fue donde se desarrolló toda la programación necesaria para el PID en las siguientes imágenes se observa el código realizado:

```
#include <Wire.h>
#include <Servo.h>

const int trigPin1 = 7; //Pin digital 2 para el Trigger del sensor
const int echoPin1 = 6; //Pin digital 3 para el Echo del sensor
const int Buffersize = 3;
char buf[Buffersize];
int recive;
int pos = 35;
int d; //distancia en centimetros
int stp;
Servo myservo; // create servo object to control a servo, later attatched to D9

int Read = 0;
float distance = 0.0;
float elapsedTime, time, timePrev; //Variables for time control
float distance_previous_error, distance_error;
int period = 50; //Refresh rate period of the loop is 50ms

float kp=1.4; //Mine was 8
float ki=0.05; //Mine was 0.2
float kd=300.15; //Mine was 3100
float distance_setpoint; //Should be the distance from sensor to the middle of the bar in mm
float PID_p, PID_i, PID_d, PID_total, D_prec;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  myservo.attach(9); // attaches the servo on pin 9 to the servo object
  myservo.write(60); //Put the servco at angle 125, so the balance is in the middle

  pinMode(trigPin1, OUTPUT); //pin como salida
  pinMode(echoPin1, INPUT); //pin como entrada
  digitalWrite(trigPin1, LOW); //Inicializamos el pin con 0
  time = millis();
}
```

```
void loop() {
  if (millis() > time+period)
  {
    time = millis();
    distance = measure_1();
    //distance_setpoint = stpLV();
    if (Serial.available()) {

      String dat = Serial.readStringUntil('&');
      int data = dat.toInt();
      distance_setpoint = data-10;
    }
    String flag = "%";
    String tolab;
    if (distance < 10) {
      tolab = flag + "0" + String(distance);
    } else {
      tolab = flag + String(distance)+ " " + "$" + distance_setpoint;
    }
    Serial.println( tolab);

    distance_error = distance_setpoint - distance;
    PID_p = kp * distance_error;
    float dist_difference = distance_error - distance_previous_error;
    PID_d = (distance_error - distance_previous_error)*(kd/period);
    PID_d = 0.56*PID_d + 0.44*D_prec;
    PID_i = PID_i + (ki * distance_error);
    PID_total = PID_p + PID_i + PID_d;
    PID_total = map(PID_total, -40, 40, 140, 60);

    if(PID_total < 60){PID_total = 60;}
    if(PID_total > 140) {PID_total = 140; }

    myservo.write(PID_total);
    //Serial.println(PID_total);
    //Serial.println(distance_setpoint);
    distance_previous_error = distance_error;
  }
}
```

```
int measure_1 (void) {

long durata=0;
float distancia=0;

digitalWrite(trigPin1, LOW);
delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin1, HIGH);
delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin1, LOW);

durata = pulseIn(echoPin1, HIGH);
distancia = ((float)durata/58.2)+0.;

delay(10);

if (distancia > 32) distancia=33;
else if (distancia < 2) distancia=1;

//return 0.01*(distancia-1.5+0.5);    // meters
return distancia;
}

int stpLV(void){

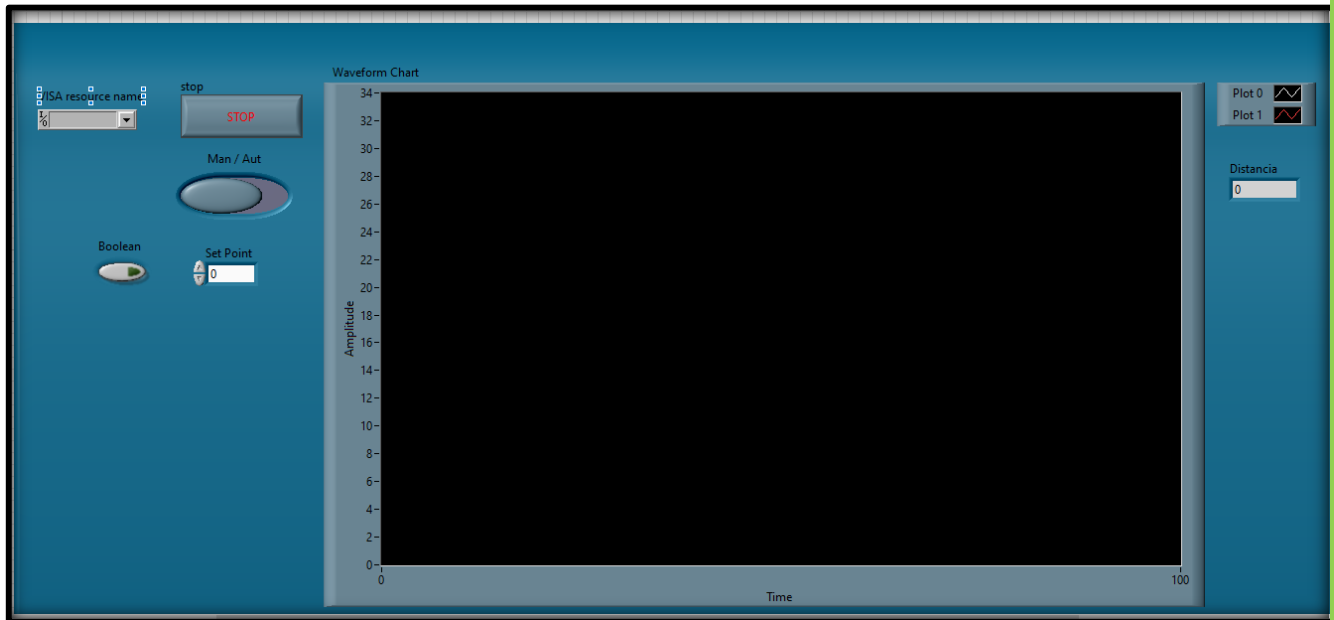
    if (Serial.available()) {

        char datos_recibidos = Serial.read();
        String grado;
        grado += datos_recibidos;
        if (datos_recibidos == '\n'){
            int stp = grado.toInt();
            grado = "";
        }
    }
    return stp;
}
```

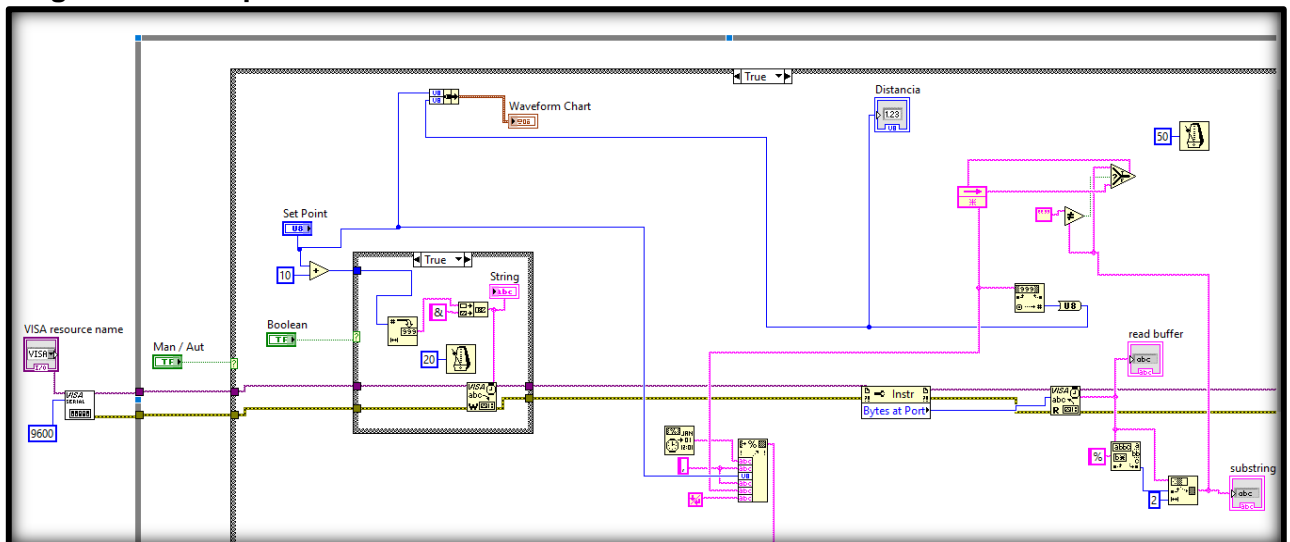
### Interfaz:

Este se desarrolló en el software Labview, en el cual solo se usó para graficar la señal de nuestro set point con respecto a nuestro valor actual, también se la mandaba el set point al Arduino por medio del buffer de comunicación, y por último se guardaron datos en un bloc de notas.

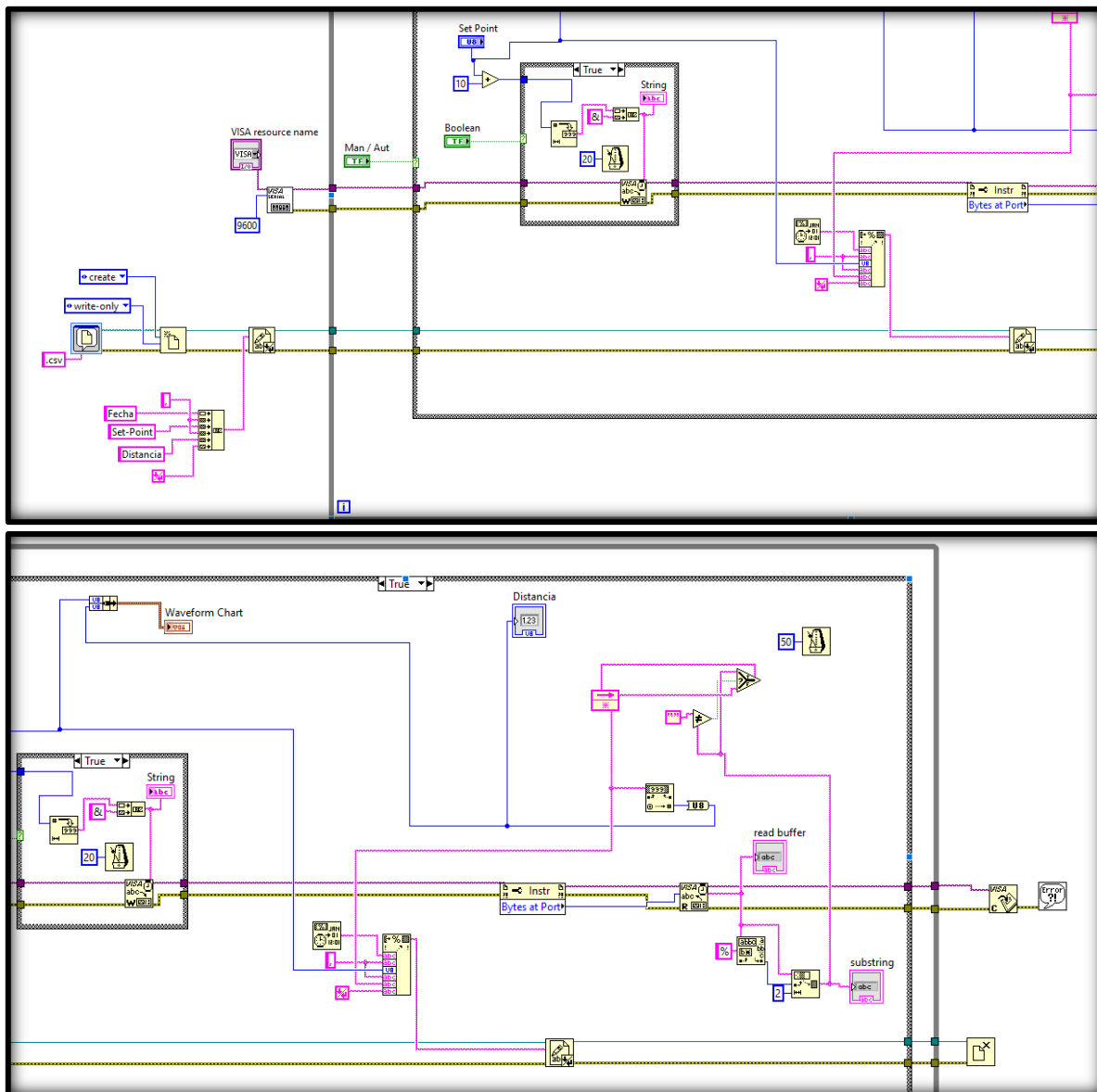
### Panel frontal:

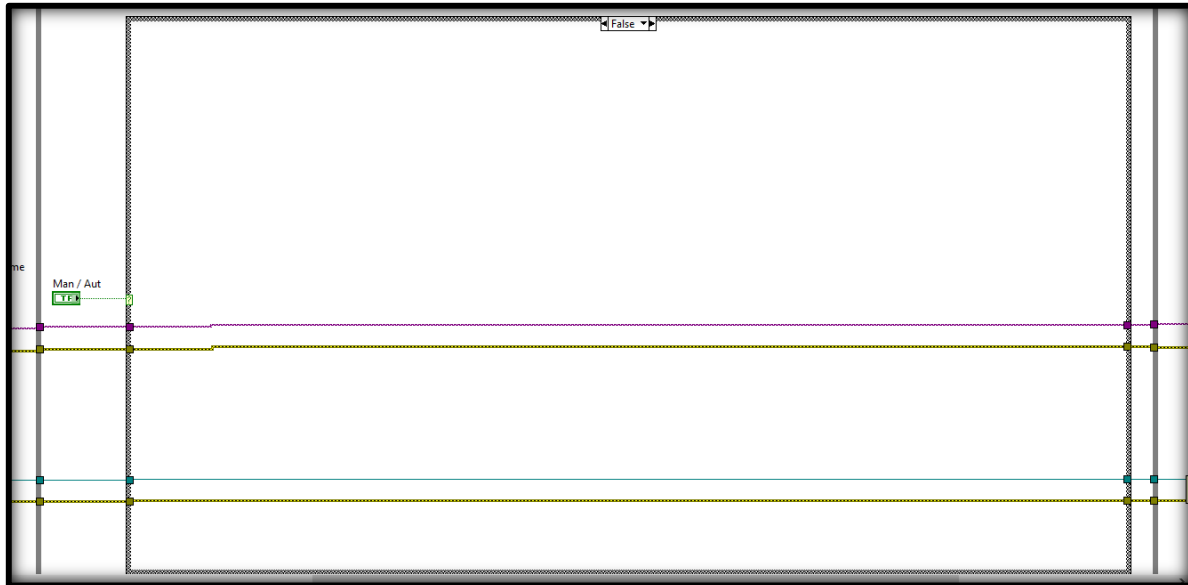


### Diagrama de bloques:









## Pruebas y ajuste finos

Una vez elaborado todo el código se procedió a hacer las pruebas finales y ajustes finos debido a que como utilizamos el método de Ziegles Nichols los resultados no son los correctos al 100% y hay que hacer unos pequeños ajustes

## Resultados obtenidos

Como resultados logramos estabilizar el rulo de manera correcta, aproximadamente se lograba estabilizar en 8 seg., y obtuvimos un error menor al 5% en las mediciones, lo cual estaba dentro de los rangos aceptados, por lo que podemos deducir que los resultados obtenidos fueron favorables.

De igual manera se guardaron los datos recibidos en un Excel como requisito de la practica

	Fecha	Set-Point	Distancia		
	13/08/2022 10:26	25	3		
	13/08/2022 10:26	25	0		
	14/08/2022 10:26	25	0		
	13/08/2022 10:26	25	4		
	13/08/2022 10:26	25	4		
	13/08/2022 10:26	25	4		
	13/08/2022 10:26	25	4		
	13/08/2022 10:26	25	4		
0	13/08/2022 10:26	25	4		
1	13/08/2022 10:26	25	4		
2	13/08/2022 10:26	25	4		
3	13/08/2022 10:26	25	4		
4	13/08/2022 10:26	25	4		
5	13/08/2022 10:26	25	4		
5	13/08/2022 10:26	25	4		

### **Conclusión:**

En conclusión, el uso de los sistemas PID dentro del ámbito industrial, de investigación y de desarrollo de nuevas tecnologías que requieran del manejo de la o las variables que se requieren controlar sean precisas y que puedan ajustarse ante diferentes tipos de perturbaciones. Por ello es que con la finalidad de este proyecto se realizó el desarrollo de un PID de distancia, ya que con este se pudo implementar el control PID con un método de sintonización que nos permitió poder el posicionamiento del rulo dentro del balancín con un error no mayor al 5 por ciento. Para llegar a este resultado se hizo uso del método de sintonización de Ziegler Nichols, en que se hicieron los cálculos correspondientes y a base de un ajuste fino realizado a la maqueta del PID, en el cual se pudo observar el comportamiento de la señal en una interfaz gráfica realizada en LabVIEW, por lo que el proyecto concluyó de manera satisfactoria cumpliendo con los requisitos propuestos.

### Bibliografía

- Pardo Martín, C. (2022). Controlador PID - Control Automático - Picuino. picuino. Recuperado 13 de agosto de 2022, de <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>
- E. (2021, 25 noviembre). Sistemas de control automático. EMACSTORES. Recuperado 13 de agosto de 2022, de <https://emacstores.com/sistemas-de-control-automatico/#:%7E:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20un%20sistema%20de,m%20edible%20en%20un%20valor%20deseado>
- Rubio, A. (2019, 27 febrero). 4 ventajas de los reguladores PID | ¿Por qué usar reguladores PID? Paneles digitales y analizadores de red. Recuperado 13 de agosto de 2022, de <https://www.instrumentaciondigital.es/4-ventajas-de-los-reguladores-pid/#:%7E:text=Los%20reguladores%20PID%20tienen%20m%C3%BAltiples,velocidad%20de%20un%20sistema%20autom%C3%A1tico>
- Junca, C. C. (s. f.). Informe Proyecto PID. Scribd. Recuperado 13 de agosto de 2022, de <https://es.scribd.com/document/436530093/Informe-Proyecto-PID>