



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

TEMA:

Diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control

AUTOR:

Rivera Villarreal, Cristhian Joel

Trabajo de Titulación previo a la obtención del grado de
INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO

TUTOR:

Philco Asqui, Luis Orlando

Guayaquil, Ecuador

17 de Marzo del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr.
Rivera Villarreal, Cristhian Joel como requerimiento para la obtención del
título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO**.

TUTOR

Philco Asqui, Luis Orlando

DIRECTOR DE CARRERA

Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 17 del mes de Marzo del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Rivera Villarreal, Cristhian Joel**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control**” previo a la obtención del Título de **Ingeniero Eléctrico Mecánico**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

AUTORIZACIÓN

Yo, Rivera Villarreal, Cristhian Joel

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: **“Diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 17 del mes de Marzo del año 2017

EL AUTOR

RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

REPORTE ANTIPLAGIO

URKUND

Documento	TT_Rivera_Joel.docx (D26100786)
Presentado	2017-03-01 09:25 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión TT Joel Rivera Mostrar el mensaje completo 1% de esta aprox. 20 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	TESIS-PARTE2.docx
	TT-Verdezoto Christian-Caiza victor actualiz...
	Titulación Final - Martin Ruiz.docx
Fuentes alternativas	
	caratula.docx

UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA
DE INGENIERÍA
ELÉCTRICO
MECÁNICO

TEMA: Diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control

AUTOR: Rivera Villarreal, Cristhian Joel

Trabajo de Titulación previo a
la obtención del grado de INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO

TUTOR: Philco Asqui, Luis Orlando

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

DEDICATORIA

Mi trabajo de titulación se la dedico con todo mi amor, mi cariño y mi aprecio para todas las personas que arrimaron el hombro y creyeron en mi sueño, a ellos les dedico.

A mis padres que me dieron la vida, luchando junto a mí, sacrificando el tiempo de nosotros, brindándome la sabiduría, amor y paciencia que tanto me sirvió para lograr un sueño planteado que fue duro, pero con la firmeza de cumplirlo, su ejemplo de lucha y valentía es el estandarte de mi diario vivir.

Olger Rivera Camacho
Rocio Villarreal Carrión

A mis hermanos que son mis ejemplos a seguir, motivándome, siendo participes en cada momento de mi carrera sin dejarme caer, buscando la manera de lograr cada paso de mi sueño, dejando de lado su tiempo y objetivos personales, cuanta ayuda recibí de ustedes, nunca me dejaron solo, los amo.

Abigail Rivera Villarreal
José Andrés Rivera Villarreal
Israel Rivera Villarreal

EL AUTOR

RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios sobre todas las cosas por haber permitido alcanzar uno de los sueños más profundos de mi corazón que sin su ayuda nada sería posible.

Agradezco infinitamente a mis padres que con mucho esfuerzo y sacrificio me dieron su apoyo incondicional en este camino difícil y duro que fue obtener el Título como Ingeniero Eléctrico Mecánico, a mi familia que siempre estuvo en los momentos más importantes dándome la mano y su colaboración.

Agradezco de forma infinita a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a la Facultad Técnica para el Desarrollo por las enseñanzas impartidas generando en mí el crecimiento profesional y espiritual.

A mi Tutor el Ing. Luis Philco Asqui, quien con su experiencia como docente han sido la guía idónea, durante el proceso que ha llevado el realizar esta tesis, me han brindado el tiempo necesario, como la información para que este anhelo llegue a ser felizmente culminado.

EL AUTOR

RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO MECÁNICO

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

PHILCO ASQUI, LUIS ORLANDO
TUTOR

f. _____

HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

MONTENEGRO TEJADA, RAÚL
COORDINADOR DE ÁREA

Índice General

Índice de Figuras	XI
Resumen	XIII
CAPÍTULO 1: Descripción del trabajo de titulación.....	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	3
1.3. Definición del Problema.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Objetivos.	4
1.5.1. Objetivo General.....	4
1.5.2. Objetivos Específicos.	4
1.6. Idea a defender.	4
1.7. Metodología de investigación.....	4
CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.....	6
2.1. Motores continuos DC.....	6
2.2. Control de velocidad de motores DC.....	7
2.3. Control direccional de motores DC.....	11
2.4. Servos de control remoto (RC).....	14
2.5. Motores de paso o paso a paso.	18
2.6. Fundamentos de controladores PID.....	20
2.6.1. Principio de realimentación.....	22
2.6.2. Control ON-OFF.	24
2.6.3. Control Proporcional.	24
2.6.4. Análisis Estático de los Sistemas Realimentados.....	26
2.6.5. Control PID.	27
2.6.6. Parámetros PID.	28

2.6.6.1. Acción Proporcional.....	28
2.6.6.2. Análisis Estático.....	28
2.6.6.3. Acción Derivativa.....	31
CAPÍTULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	34
3.1. Diseño y Simulación.....	34
3.2. Arquitectura de la planta de control.....	34
3.3. Simulación en Labview del motor DC.....	36
3.4. Modelado del motor DC (Herramienta Ident de Matlab).....	37
3.5. Función de transferencia de motor DC.....	40
3.6. Implementación de instrumentación virtual del control PID.....	41
3.6.1. Interface NI USB DAQ 6008.....	43
3.6.2. Encoder Herradura.....	44
3.6.3. Driver de colector abierto NPN para el motor DC.....	45
3.6.4. Configuración del sistema de adquisición de datos.....	46
CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.....	52
4.1. Conclusiones.....	52
4.2. Recomendaciones.....	53
Bibliografía.....	53

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2. 1: Diseños de control de velocidad de motores DC.	8
Figura 2. 2: Circuito de control por anchura de pulsos de la velocidad de un motor DC.	9
Figura 2. 3: Circuito de control mediante CMOS/MOSFET.....	10
Figura 2. 4: Circuito de control mediante temporizador 555 - MOSFET.	10
Figura 2. 5: Circuitos controladores de direccionamiento para motores DC.	11
Figura 2. 6: Circuito base de un puente H de transistores bipolares.....	12
Figura 2. 7: Circuito base de un puente H de MOSFETs.....	13
Figura 2. 8: Respuesta típica de señal de control de servo motores.	15
Figura 2. 9: Circuito controlador de un sencillo servo motor.	16
Figura 2. 10: Diagrama de motor de paso internamente distribuido.	19
Figura 2. 11: Diagrama de bloques de un sistema de control de procesos.	23
Figura 2. 12: Función de un control proporcional con error de control U.	25
Figura 2. 13: Características estática de un proceso.....	26
Figura 2. 14: Flujo de bloques de una malla realimentada sencilla.....	28
Figura 2. 15: Diagrama de flujo de una respuesta integral con respuesta de reset.....	31
Figura 2. 16: Implementación de la función de transferencia $sT/(1 + sT)$ a la aproximación de la acción derivada.....	32

Capítulo 3

Figura 3. 1: Sistema PID de lazo cerrado.	34
Figura 3. 2: Arquitectura de la planta.	35
Figura 3. 3: Diseño de la tarjeta USB DAQ.....	35
Figura 3. 4: Conexiones de la planta con el DAQ.	36
Figura 3. 5: Simulación de la velocidad de un motor dc.....	37
Figura 3. 6: Formato de datos para señales en el dominio del tiempo.....	37
Figura 3. 7: Herramienta de Identificación (Ident) de MatLab.	38
Figura 3. 8: Parámetros Modelo del proceso.	39
Figura 3. 9: Porcentaje de exactitud del modelo.....	39

Figura 3. 10: Función de transferencia.	40
Figura 3. 11: Diseño en Simulink del PID.	40
Figura 3. 12: PID Tuner Tool.....	41
Figura 3. 13: Valores de ganancias.	41
Figura 3. 14: Estructura de un control PID en LabView.	41
Figura 3. 15: Diagrama de bloques LabView.	42
Figura 3. 16: Panel Frontal Labview.	43
Figura 3. 17: Microprocesador Arduino UNO.....	44
Figura 3. 18: Principio de Funcionamiento de los encoder incrementales. ...	44
Figura 3. 19: Salida de colector abierto NPN.....	45

Resumen

El presente trabajo de titulación describe el funcionamiento de los diferentes tipos de motores eléctricos, en especial los motores DC. Por otra parte, se realiza el análisis del método de control PID (proporcional, integrativo y derivativo) para las variaciones de la velocidad de un motor DC. El control PID en si es un sistema de control de realimentación que se implementa a través de plataformas de simulación como MatLab/Simulink e instrumentos virtuales como LabView. Para lo cual, los fundamentos teóricos permitieron entender el funcionamiento de un motor DC y del control PID. En la parte de aportaciones, en el Capítulo 3, se desarrolla una interfaz de usuario a través de LabView donde se implementó el controlador PID y a su vez se utilizó el dispositivo de adquisición de datos de National Instruments, es decir, como un sistema SCADA (supervisión, control y adquisición de datos). Los resultados obtenidos fueron satisfactorios cumpliendo así el propósito del trabajo de titulación.

Palabras claves: MOTORES DC, CONTROLADORES, PID, MATLAB/SIMULINK, LABVIEW, SCADA.

ABSTRACT

This titration work describes the operation of the different types of electric motors, in particular DC motors. On the other hand, the PID control method (proportional, integrative and derivative) is analyzed for variations in the speed of a DC motor. The PID control itself is a feedback control system that is implemented through simulation platforms such as MatLab / Simulink and virtual instruments such as LabView. For that, the theoretical foundations allowed to understand the operation of a DC motor and the PID control. In the input part, in Chapter 3, a user interface is developed through LabView where the PID controller was implemented and in turn the National Instruments data acquisition device was used, ie as a SCADA system (Monitoring, control and data acquisition). The results obtained were satisfactory, thus fulfilling the purpose of the titration work.

Keywords: DC MOTORS, CONTROLLERS, PID, MATLAB / SIMULINK, LABVIEW, SCADA.

CAPÍTULO 1: Descripción del trabajo de titulación.

1.1. Introducción

Los motores de corriente continua (DC) han sido populares en el área de control de la industria durante mucho tiempo, ya que tienen muchas buenas características, por ejemplo: alta característica de par de arranque, alto rendimiento de respuesta, más fácil de ser control lineal, entre otras características. Los motores DC son muy utilizados en diferentes aplicaciones, telefonía celular, impresoras láser e inyección, copadoras, robots móviles, robots volares, entre otras aplicaciones industriales.

La combinación de acción de control proporcional, integral y derivada se denomina acción de control PID. Los reguladores PID se utilizan comúnmente para regular el comportamiento en el dominio del tiempo de muchos tipos diferentes de plantas dinámicas. Estos controladores son extremadamente populares porque normalmente pueden proporcionar buenas características de respuesta de circuito de lazo cerrado.

El controlador PID es con mucho el algoritmo de control más común. La mayoría de los bucles de retroalimentación práctica se basan en el control PID o algunas variaciones menores de la misma. Muchos controladores ni siquiera utilizan la acción derivada. Los controladores PID aparecen en muchas formas diferentes, como controladores independientes, también pueden formar parte de un paquete DDC (control digital directo) o un sistema de control de procesos distribuido jerárquico o están integrados en sistemas embebidos.

Miles de ingenieros eléctricos en el área de instrumentos y control en todo el mundo están utilizando estos controladores en su trabajo diario. El algoritmo PID puede ser abordado desde diferentes direcciones. Puede ser

visto como un dispositivo que puede ser operado con unas pocas reglas empíricas, pero también puede ser abordado analíticamente.

1.2. Antecedentes.

Durante la búsqueda de información de trabajos relacionados con el tema del trabajo de titulación, se pudo constatar que en la Carrera de Ingeniería Eléctrico Mecánica no existen trabajos donde se analice o modele los sistemas de control PID en motores DC. Apenas se pudo encontrar un trabajo en donde se modela a través de Simulink motores de corriente alterna, pero sin el uso de controles PID.

Mientras, que se pudo constatar diferentes trabajos de grado y publicaciones en revistas. Por ejemplo, Singh, Narayan, & Verna, (2013) publican el control de velocidad de motores DC basados en controladores PID utilizando la herramienta de simulación MatLab/Simulink. Este trabajo fue apropiado para abordar el tema de titulación propuesto, pero utilizando la plataforma de instrumentos virtuales LabView.

1.3. Definición del Problema.

Los controladores PID no son tratados a profundidad y tampoco hay trabajos de titulación donde se analice a PID, ni teóricamente ni a través de simuladores. De acuerdo a lo explicado, surge la necesidad del diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control

1.4. Justificación.

El diseño de controladores PID utilizando herramientas de simulación MatLab/Simulink y de instrumentos virtuales LabView va permitir contar con

una aplicación práctica que podrá ser analizada por estudiantes y profesionales que deseen incursionar el modelado de sistemas PID.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo General.

Realizar el diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control.

1.5.2. Objetivos Específicos.

- ✓ Describir los fundamentos teóricos sobre motores DC y los controladores PID.
- ✓ Diseñar una interfaz gráfica a través de instrumentos virtuales sobre la plataforma LabView.
- ✓ Diseñar en Matlab la interfaz gráfica para el controlador PID.

1.6. Idea a defender.

Las plataformas de simulación MatLab/Simulink y de instrumentos virtuales LabView son poderosas herramientas para el modelado matemático de sistemas sencillos y complejos. El trabajo de titulación propuesto, se enfoca en el diseño de un controlador PID basados en las plataformas MatLab/Simulink y LabView lo que permitirá ver el comportamiento de la velocidad de un motor DC como un sistema SCADA.

1.7. Metodología de investigación.

La metodología de investigación que se utiliza en el trabajo de titulación tiene un enfoque netamente cuantitativo, y el tipo de investigación, es

descriptivo y explicativo. El método que se utiliza es propio y corresponde a la simulación de controles PID utilizando sistemas SCADA a través de las plataformas LabView y MatLab/Simulink.

CAPÍTULO 2: Fundamentación teórica.

Tal vez una de las cosas más entretenidas que se pueden hacer con la electrónica, es hacer que algunos dispositivos mecánicos se muevan. Tres dispositivos muy populares utilizados para "hacer que las cosas se muevan" incluyen motores de corriente continua, servos RC y motores paso a paso.

2.1. Motores continuos DC.

Un motor de corriente continua es un dispositivo simple de dos conductores, eléctricamente controlado, que viene con un eje giratorio en el que se pueden montar ruedas, engranajes, hélices, etc. Un motor de corriente continua genera una cantidad considerable de revoluciones por minuto (rpm) para su tamaño y puede hacerse girar en sentido horario o antihorario invirtiendo la polaridad aplicada a los conductores. A bajas velocidades, los motores de cc proporcionan poco torque y control de posición mínimo, haciéndolos poco prácticos para aplicaciones de control de posición como puntos.

Generalmente, los motores de corriente continua están disponibles en muchas formas y tamaños diferentes. La mayoría de los motores de corriente continua proporcionan velocidades de rotación entre 3000 y 8000 rpm a una tensión de funcionamiento específica típicamente establecida entre 1,5 y 24 V. El voltaje de funcionamiento proporcionado por el fabricante le indica a qué voltaje funciona el motor más eficientemente. Ahora, el voltaje real aplicado a un motor se puede hacer levemente más bajo para hacer el motor más lento o puede ser elevado para hacer que el motor sea más rápido.

Sin embargo, cuando el voltaje aplicado cae por debajo del 50 por ciento de la tensión de funcionamiento especificada, el motor normalmente

dejará de girar. Por el contrario, si el voltaje aplicado supera el voltaje de operación en alrededor del 30 por ciento, existe la posibilidad de que el motor se sobrecaliente y se dañe. En la práctica, como se verá a continuación, la velocidad de un motor de corriente continua se controla de forma más eficaz mediante la modulación de ancho de pulso, con lo que el motor se enciende y apaga rápidamente. La anchura del pulso aplicado, así como el período entre impulsos, controla la velocidad del motor.

Además, vale la pena señalar que un motor de marcha libre (sin carga) puede sacar poca corriente (potencia). Sin embargo, si se aplica una carga, la cantidad de corriente extraída por las bobinas interiores del motor sube inmensamente (hasta 1000 por ciento o más). Los fabricantes generalmente proporcionarán lo que se conoce como una clasificación de corriente de parada para sus motores. Esta clasificación especifica la cantidad de corriente extraída en el momento en que el motor se detiene.

Si la clasificación de corriente de su motor no está en la lista, es posible determinarla usando un amperímetro. Aplicando lentamente una fuerza en el eje del motor y observe el nivel de corriente en el punto en que el motor se detiene. Otra especificación dada a los motores de corriente continua es una relación de par. Esta clasificación representa la cantidad de fuerza que el motor puede ejercer sobre una carga. Un motor con un alto torque ejercerá una fuerza mayor sobre una carga colocada en una tangente a su brazo de giro que un motor con una menor relación de par. La relación torque de un motor se da generalmente en lb·ft, g·cm, u oz·in.

2.2. Control de velocidad de motores DC.

Una aproximación aparentemente obvia para controlar la velocidad de un motor de corriente continua significaría limitar el flujo de corriente utilizando un potenciómetro. La figura 2.1 muestra dos circuitos con potenciómetros para controlar la velocidad de un motor DC. De acuerdo con

la ley de Ohm, a medida que aumenta la resistencia, la corriente disminuye y el motor se ralentiza. Sin embargo, usar una resistencia para controlar el flujo de corriente es ineficiente. A medida que aumenta la resistencia, aumenta la cantidad de energía de corriente que se debe convertir en calor.

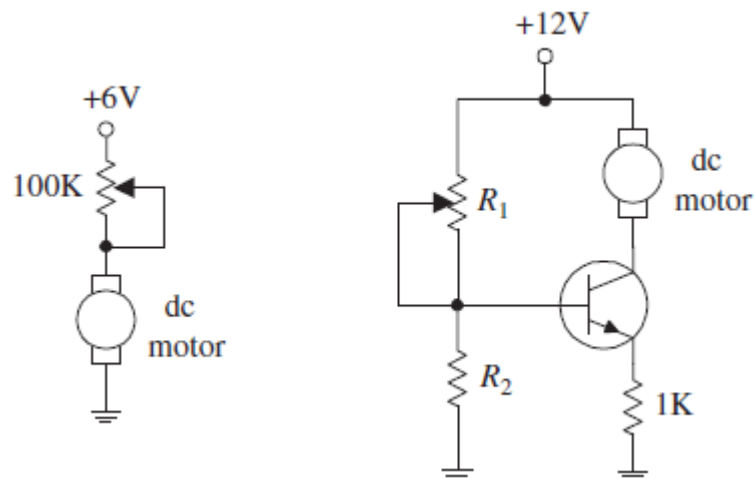


Figura 2. 1: Diseños de control de velocidad de motores DC.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

La producción de calor con el fin de ralentizar un motor hacia abajo no es buena, ya que consume la energía de suministro y puede conducir a la fusión del potenciómetro. Otra aproximación aparentemente buena pero ineficiente para controlar la velocidad de un motor es usar una disposición de amplificador de transistor. Sin embargo, de nuevo, hay un problema. A medida que la resistencia de colector a emisor aumenta con la tensión/corriente de base variable, el transistor debe disipar una cantidad considerable de calor. Esto puede conducir a la fusión del transistor.

Con el fin de conservar la energía y evitar la fusión de componentes, un enfoque similar a lo que se utiliza en las fuentes de alimentación de conmutación se utiliza para controlar la velocidad del motor. Este enfoque implica el envío de los impulsos cortos del motor de la corriente. Al variar el ancho y la frecuencia de los impulsos aplicados, se puede controlar la velocidad del motor. Controlar la velocidad de un motor de esta manera impide que cualquier componente experimente tensión de corriente continua.

Las figuras 2.2, 2.3 y 2.4 muestran tres circuitos simples usados para proporcionar los impulsos de control de motor deseados. En el primer circuito (véase la figura 2.2) un oscilador de alojamiento UJT (transistor uni-unión, es decir que contiene dos zonas semiconductoras) genera una serie de pulsos que activan y desactivan un rectificador controlado por silicio conocido como SCR (Silicon Controlled Rectifier). Para variar la velocidad del motor, la frecuencia oscilatoria del UJT se ajusta cambiando la constante de tiempo RC.

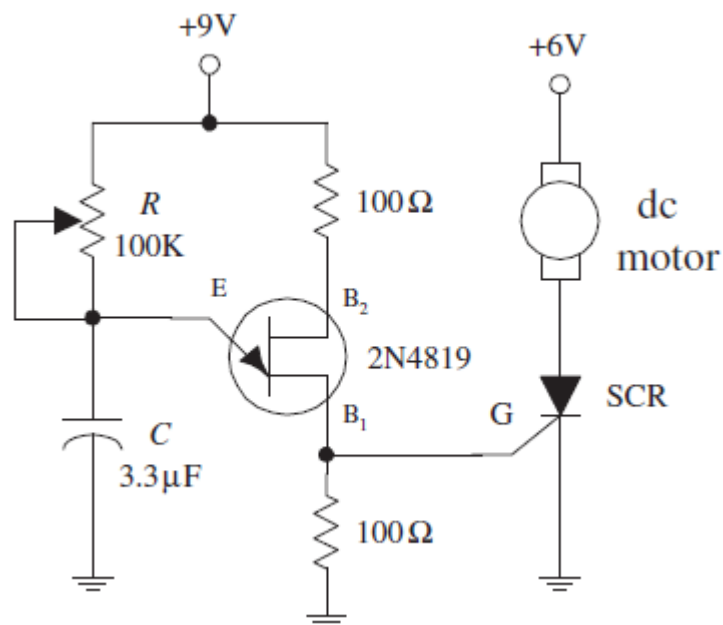


Figura 2. 2: Circuito de control por anchura de pulsos de la velocidad de un motor DC.

Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

En el segundo circuito (véase la figura 2.3) un par de compuertas NAND constituyen la sección del oscilador de relajación, mientras que un MOSFET de potencia del tipo de realce se utiliza para accionar el motor. Al igual que el circuito precedente, la velocidad del motor es controlada por la constante de tiempo RC del oscilador. Observe que, si se extrae uno de los cables de entrada de la puerta NAND (izquierda), es posible crear un terminal extra que se pueda utilizar para proporcionar controles de encendido/apagado que puedan ser conectados con circuitos lógicos CMOS.

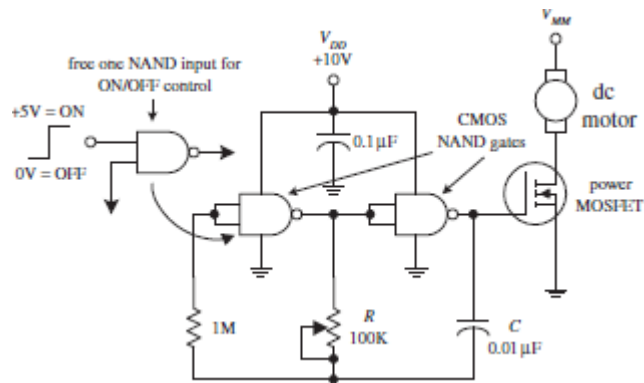


Figura 2. 3: Circuito de control mediante CMOS/MOSFET.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

En la figura 2.4 se muestra el tercer circuito, que utiliza temporizador 555 para generar impulsos que generan un MOSFET de potencia. Al insertar un diodo entre los pines 7 y 6, el temporizador 555 se coloca en funcionamiento de ciclo de trabajo bajo. Donde, R1, R2 y C ajustan la frecuencia y la duración de encendido/apagado de los impulsos de salida. Las fórmulas que acompañan el diagrama proporcionan los detalles que en muchas aplicaciones el temporizador 555 en este circuito final puede ser reemplazado por un microcontrolador con una salida PWM impulsando el transistor MOSFET.

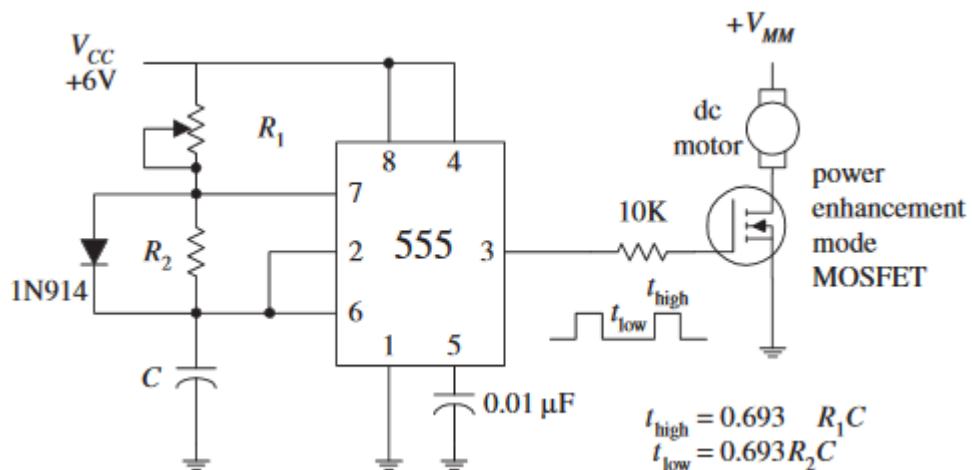


Figura 2. 4: Circuito de control mediante temporizador 555 - MOSFET.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

2.3. Control direccional de motores DC.

Para controlar la dirección de un motor, la polaridad aplicada a los cables del motor debe ser invertida. Un simple método de control manual consiste en utilizar un conmutador DPDT (véase el circuito en la figura 1.3). Alternativamente, puede utilizarse un relé DPDT accionado por transistor (véase el circuito intermedio). Si no le interesa los relés, puede utilizar un circuito de transistor push-pull (consulte el circuito más a la izquierda). Este circuito utiliza un par complementario de transistores (betas similares y potencia nominal); uno es un npn Darlington, y el otro es un pnp Darlington. Cuando se aplica un voltaje alto (por ejemplo, +5 V) a la entrada, el transistor superior (nnp) conduce, permitiendo que la corriente pase desde la alimentación positiva a través del motor y hacia tierra. Si se aplica un voltaje bajo (0 V) a la entrada, el transistor inferior (pnp) conduce, permitiendo que la corriente pase a través del motor desde tierra en el terminal de suministro negativo.

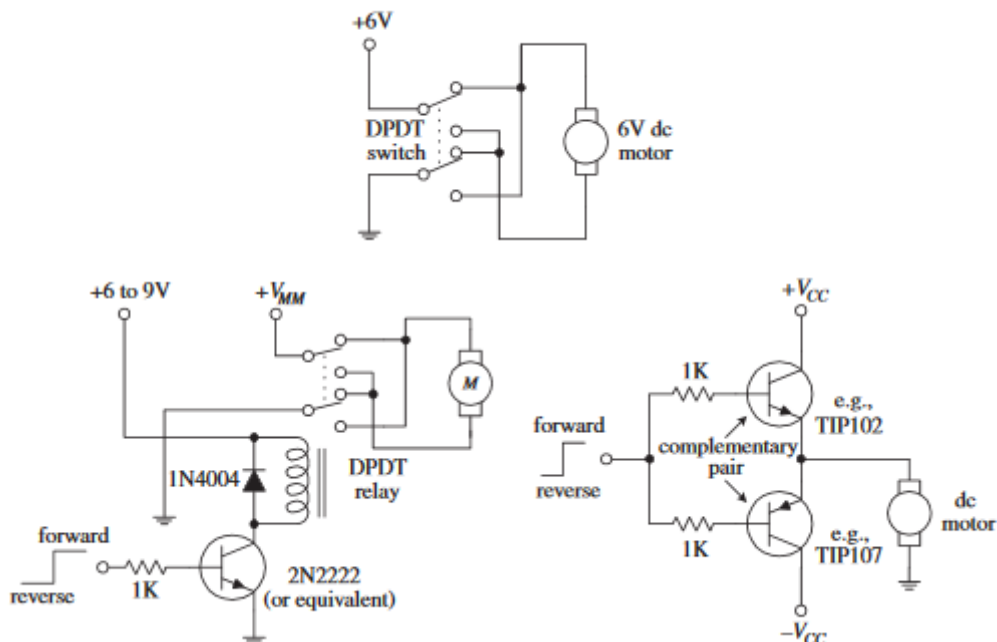


Figura 2. 5: Circuitos controladores de direccionamiento para motores DC.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

Otro circuito muy popular usado para controlar la dirección de un motor (así como la velocidad) es el puente H. Las figuras 2.6 y 2.7 muestran dos versiones simples del circuito de puente H. El puente H de la figura 2.6 está construido con transistores bipolares, mientras que el puente H de la figura 2.7 se construye a partir de MOSFETs. Para hacer que el motor gire en dirección hacia adelante, se aplica una señal alta (+5 V) a la entrada directa, mientras que no se aplica señal a la entrada inversa (no se permite aplicar una tensión a ambas entradas al mismo tiempo).

La velocidad del motor se controla mediante la modulación de la señal de entrada por ancho de impulso. Aquí está una descripción de cómo funciona el puente H bipolar (véase la figura 2.6): Cuando se aplica un voltaje alto a la base Q_3 , entonces Q_3 conduce, lo que a su vez permite que el transistor Q_2 PNP conduzca. La corriente fluye desde el terminal de suministro positivo a través del motor en la dirección de derecha a izquierda. Para invertir la dirección del motor, la señal de voltaje alto se elimina de la base de Q_3 y se coloca en la base de Q_4 . Esto establece que los transistores Q_4 y Q_1 están en conducción, permitiendo que la corriente pase a través del motor en la dirección opuesta. El puente MOSFET H (véase la figura 2.7) funciona de manera similar.

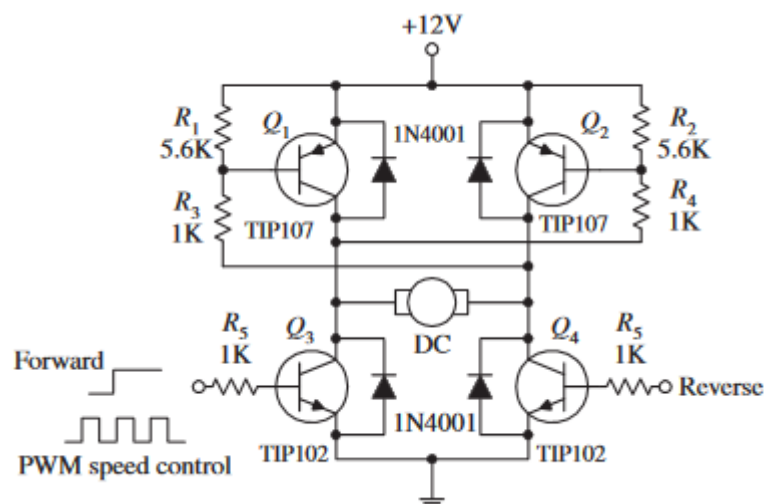


Figura 2. 6: Circuito base de un puente H de transistores bipolares.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

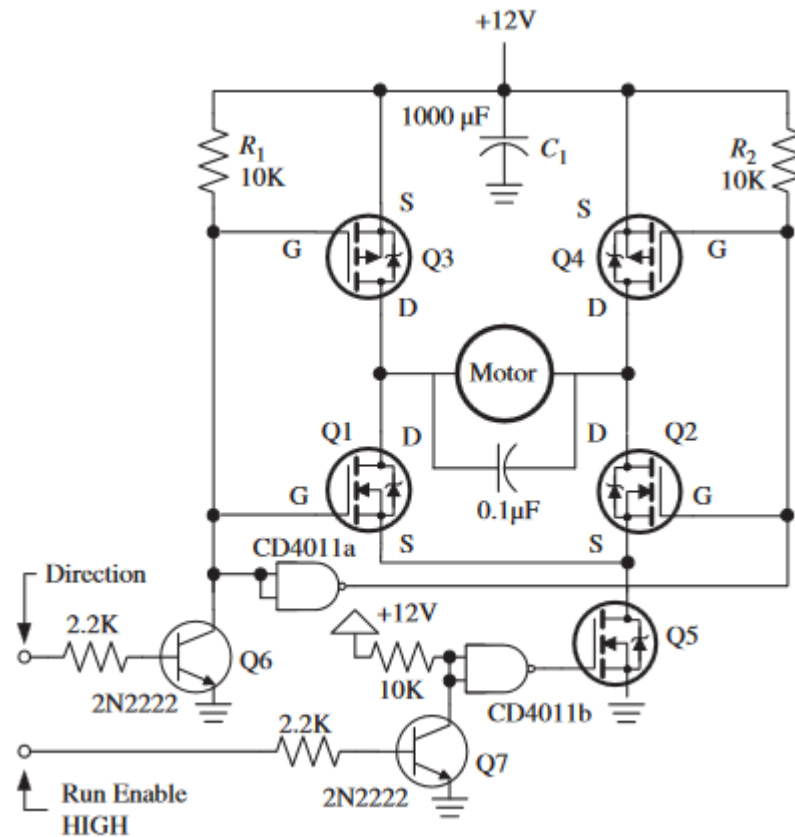


Figura 2. 7: Circuito base de un puente H de MOSFETs.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

Ahora, es posible construir estos circuitos puente H desde cero, pero es mucho más fácil y generalmente más barato comprar un IC (circuito integrado) motorizado. Por ejemplo, el IC de LMD18200 de National Semiconductor es un chip de puente H de alta corriente y fácil de usar, que tiene una clasificación de 3 A y de 12 a 55 V. Este chip es compatible con tecnología TTL y CMOS e incluye diodos de sujeción, protección de carga en cortocircuito y un cable de salida de interrupción de advertencia térmica.

El L293D es otro IC muy popular. Este chip es muy fácil de usar y es más barato que el LMD18200, pero no puede manejar tanta corriente y no proporciona tantas características adicionales. Hay muchos otros circuitos integrados de controladores motorizados, así como una serie de tarjetas prefabricadas.

2.4. Servos de control remoto (RC).

Los servos de control remoto (RC), a diferencia de los motores de corriente continua, son dispositivos de motor diseñados específicamente para aplicaciones de control de posición tipo puntero. Un servo RC utiliza una señal externa modulada en amplitud de pulso (PWM) para controlar la posición de su eje dentro de una pequeña fracción de su rango máximo de rotación. Para alterar la posición del eje, se varía la anchura de impulso de la señal modulada.

La cantidad de rotación angular del eje del servo RC está limitada a alrededor de 180° o 210° dependiendo de la marca específica del servo. Estos dispositivos pueden proporcionar una cantidad significativa de par de baja velocidad (debido a un sistema de engranajes interno) y proporcionan velocidades moderadas de conmutación de desplazamiento de oscilación completa. Los servos RC se utilizan con frecuencia para controlar la dirección en modelos de automóviles, barcos y aviones. También se utilizan comúnmente en robótica, así como en muchas aplicaciones de posicionamiento de sensores.

El servo RC estándar parece una simple caja con un eje de transmisión y tres cables que salen de él. Los tres cables consisten en un cable de alimentación (usualmente negro), un cable de tierra (generalmente rojo) y el cable de control de posicionamiento del eje (el color varía según el fabricante). Dentro de la caja hay un motor de corriente continua, un dispositivo de realimentación y un circuito de control. El dispositivo de realimentación consiste usualmente en un potenciómetro cuyo dial de control está mecánicamente unido al motor a través de una serie de engranajes. Cuando se gira el motor, se gira el dial de control del potenciómetro. El eje del motor está limitado generalmente a una rotación de 180 ° (o 210 °). El potenciómetro actúa como un dispositivo de control de posición que indica al

circuito de control (por medio de su resistencia) exactamente hasta qué punto el eje ha girado.

Mientras que el circuito de control utiliza esta resistencia, junto con una señal de control de entrada modulada en anchura de impulso, para accionar el motor un número específico de grados y luego mantenerlo. (La cantidad de par de retención varía de servo a servo). La anchura de la señal de entrada determina la distancia de rotación del eje del servo.

Por conveniencia, cuando la anchura de pulso se ajusta a 1,5 ms, el servo gira su eje a la posición neutra (por ejemplo, 90° si el servo está restringido dentro de un intervalo de 0 a 180 °). Para hacer girar el eje un cierto número de grados desde la posición neutra, se varía la anchura de impulso de la señal de control. Para hacer que el eje vaya en sentido contrario a las agujas del reloj desde el punto neutro, se aplica un impulso de más de 1,5 ms a la entrada de control. Por el contrario, para hacer que el eje vaya en el sentido de las agujas del reloj desde el neutro, se aplica un pulso más estrecho que 1,5 ms. En las figuras 2.8 y 2.9 se muestra el diagrama de respuesta de una señal de control y el circuito electrónico para un servo motor.

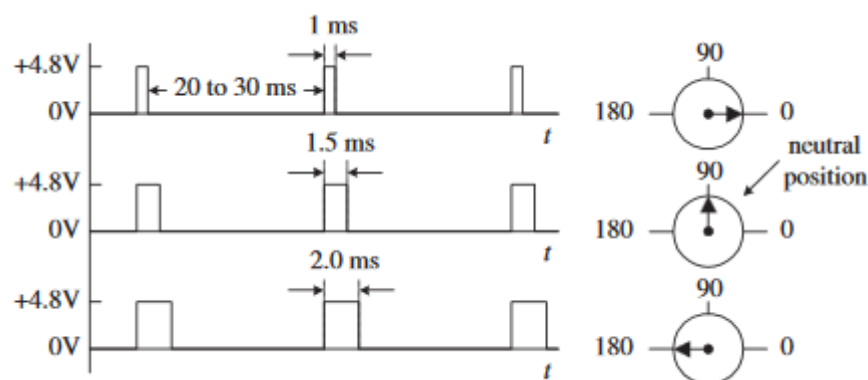


Figura 2. 8: Respuesta típica de señal de control de servo motores.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

Saber exactamente cuánto más ancho o más estrecho se necesita para hacer que el pulso sea suficiente como para lograr desplazamientos angulares exactos, depende en gran medida de qué tipo de servo está utilizando. Por ejemplo, una marca de servo puede proporcionar una rotación máxima a la izquierda en 1 ms y máxima en sentido horario a 2 ms, mientras que otra marca de servo puede proporcionar la máxima rotación a la izquierda en 1,25 ms y máxima rotación a la derecha en 1,75 ms. La tensión de alimentación utilizada para los servos de potencia es comúnmente de 4,8 V, pero puede ser de 6,0 V, dependiendo de la marca específica del servo. A diferencia de la tensión de alimentación, la corriente de alimentación de un servo varía mucho, dependiendo de la potencia de servo.

Un circuito temporizador 555 simple como el mostrado en la figura 2.9 se puede utilizar para generar la señal de servocontrol. En este circuito, R2 actúa como el control de ancho de pulso. Los servos también pueden ser controlados por un microprocesador o un microcontrolador.

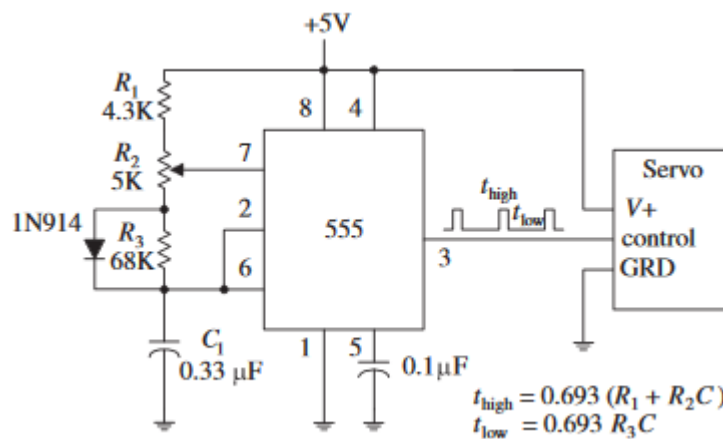


Figura 2. 9: Circuito controlador de un sencillo servo motor.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

Ahora, cuando se controlan los servos dentro de los aviones modelo, primero se envía una señal de control inicial (generada por variados potenciómetros de control de posición) a un circuito modulador de ondas radioeléctricas que codifica la señal de control dentro de una onda portadora. Esta onda portadora se irradia entonces como una onda de radio por una

antena. La onda de radio, a su vez, se transmite al circuito receptor del modelo. El circuito receptor recupera la señal de control inicial demodulando la portadora. Después de eso, la señal de control se envía al servo designado dentro del modelo.

Ahora, si hay más de un servo por modelo, se necesitan más canales. Por ejemplo, la mayoría de los aviones RC requieren un sistema de radio de cuatro canales; un canal se utiliza para controlar los alerones, otro controla el ascenso, otro controla el timón y otro controla el acelerador. Los modelos más complejos pueden utilizar cinco o seis canales para controlar características adicionales como las aletas y el tren de aterrizaje retráctil.

La comisión federal de comunicaciones (FCC) deja a un lado 50 frecuencias en la banda de 72 MHz (canales 11-60) dedicada exclusivamente al uso de aviones. No se necesita licencia para operar estas radios. Sin embargo, con una licencia de operador de radio aficionado (Ham), es posible utilizar una radio dentro de la banda de 50 MHz. Además, hay frecuencias separadas dentro de la banda de 27 MHz que son legales para cualquier tipo de uso del modelo (superficie o aire). Si se está interesado en servos radio controlados (RC), un buen punto de partida sería comprobar una tienda con modelos RC. Estas tiendas llevan una serie de transmisores y receptores conjuntos, junto con los servos.

Como nota final, con un poco de cableado, un servo se puede convertir en un motor de accionamiento con rotación sin restricciones. Una manera simple de modificar el servo es romper el bucle de realimentación. Esto implica eliminar el potenciómetro de tres derivaciones (y desvincular el sistema de engranajes para que pueda girar 360 °) y reemplazarlo por un par de resistencias divisorias de tensión (la salida del divisor de tensión sustituye al terminal variable del potenciómetro). El divisor de tensión se utiliza para convencer al circuito de servocontrol de que el servo está en posición neutra.

Los valores exactos de las resistencias necesarias para ajustar el servo en la posición neutra se pueden determinar usando el potenciómetro antiguo y un ohmímetro. Ahora, para girar el motor en el sentido de las agujas del reloj, se aplica un impulso mayor de 1,5 ms a la entrada de control. Siempre y cuando la señal de control esté en su lugar, el motor continuará girando y no se detendrá: ha quitado el sistema de realimentación. Para girar el motor en sentido contrario a las agujas del reloj, se aplica a la entrada de control un pulso inferior a 1,5 ms.

2.5. Motores de paso o paso a paso.

Los motores paso a paso, o de paso, son motores sin escobillas controlados digitalmente que giran un número específico de grados (un paso) cada vez que se aplica un pulso de reloj a un circuito especial de traductor que se usa para controlar el escalón. El número de grados por paso (resolución) para un motor paso a paso determinado puede ser tan pequeño como $0,72^\circ$ por paso o tan grande como 90° por paso. Las resoluciones comunes de paso general son 15° y 30° por paso.

A diferencia de los servos RC, los motores de paso pueden girar 360° y pueden girar de forma continua como un motor de corriente continua (pero con una velocidad máxima inferior) con la ayuda de circuitos de control digital adecuados. A diferencia de los motores de corriente continua, los motores de paso proporcionan una gran cantidad de torque a bajas velocidades, haciéndolos adecuados en aplicaciones donde se necesita un control de posición de baja y alta precisión. Por ejemplo, se utilizan en impresoras para controlar la alimentación de papel y se utilizan para ayudar a una estrella telescópica.

Los motores de paso también se encuentran en las aplicaciones de posicionamiento de plotter y sensor. La lista continúa. Para darle una idea básica de cómo funciona un motor de paso, véase la figura 2.10.

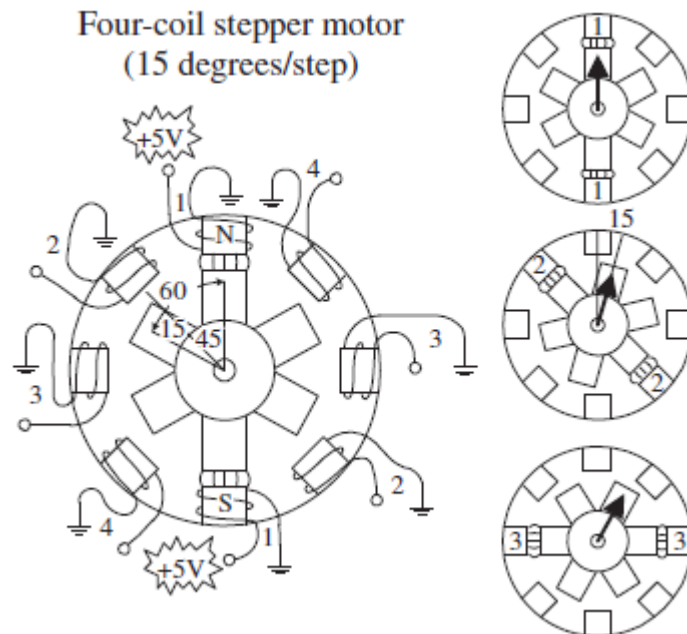


Figura 2. 10: Diagrama de motor de paso internamente distribuido.
Fuente: (Gil G. & Rincón G., 2014)

Aquí está un modelo simple que representa un escalón de 15° por paso variable. La sección estacionaria del motor, llamada el estator, tiene ocho polos que están separados 45° . La sección móvil del motor, denominada rotor, está hecha de un material ferromagnético (un material que es atraído por campos magnéticos) que tiene seis dientes separados a 60° entre sí. Para hacer que el rotor gire un paso, la corriente se aplica, al mismo tiempo, a través de dos pares de polos opuestos, o pares de bobinas.

La corriente aplicada hace que el par opuesto de polos se magnetice. Esto a su vez hace que los dientes del rotor se alineen con los polos, como se puede apreciar en la figura 2.10. Para hacer que el rotor gire 15° en el sentido de las agujas del reloj desde esta posición, el par de bobinas de corriente 1 se retira y se envía a través del par de la bobina 2. Para hacer que el rotor gire otro 15° en sentido horario desde esta posición, A través del par de bobina 3. El proceso continúa de esta manera. Para hacer que el rotor gire en sentido contrario a las agujas del reloj, la secuencia de disparo del par de bobinas se invierte.

2.6. Fundamentos de controladores PID.

Con respecto a los controladores PID a lo largo de la historia, han sido partícipes de muchos cambios los cuales pudieron haber significado su total desempleo en procesos industriales. Si nos remontamos al pasado, podemos poner de ejemplo los primeros reguladores Watt que se utilizaron muy antiguos y limitados. Para aquella época donde se encontraba una gran revolución de tipo industrial en pleno nacimiento; lo que conlleva, a recordar los controladores de tipo neumáticos que se emplearon a continuación, o los controladores de tipo analógicos que se enfocaban en tener un principio eléctrico o electrónico para su implementación.

Obviamente en ese tiempo era muy común el uso de válvulas, pero con la evolución de los circuitos integrados, hubo un avance exponencial, debido a que esto dio paso a lo que hoy conocemos como microcontroladores, los que brindan una muy superior utilidad gracias a su capacidad para ser programados y su rápida respuesta de acción al momento de utilizarlos. Podemos apreciar el avance y desarrollo de los controles PID desde la aplicación de microcontroladores en unión a estos. Este desarrollo ha dado la capacidad de compartir nuevos enfoques de uso mediante parámetros nuevos y antiguos con respecto a los tipos o modos de los controles posibles.

Si podemos resumir el control PID en pocas palabras, sería algo como un “ajuste automático”, entendiendo que las variables de salida y entrada son aquellas que tienen la obligación de acomodar una acción automáticamente según la necesidad principal que tiene el usuario, y que, a su vez, está impuesta en el microcontrolador. Teniendo esto como regla a seguir, podemos fijarnos que no es igual a una función de tipo adaptación, que, en su orden, tiene controladores adaptivos que son los que realizan todo el trabajo desde el punto de vista que se ajustan continuamente para los parámetros propios del controlador usado.

El mejoramiento de este tipo de control o sistema de control que conocemos como PID está relacionado directamente con las comunicaciones de datos en el ámbito de campos, por lo que se ha autorizado la introducción de esquemas de trabajos importantes dentro de los sistemas que se tienen de controles distribuidos. Para esto, la posibilidad de poder comunicarse entre estos dispositivos con otros de campo como un ejemplo los PLCs, u otros dispositivos de mayor nivel de complejidad o superioridad. Todo esto engloba actualmente una característica necesaria en los controladores de tipo PID.

En el ámbito industrial hay equipos de ingenieros los cuales se enfocan en procesos y también en instrumentación, que en su continuo empleo y aplicación de controladores PID se han acostumbrado a estos a nivel de prácticas de forma continua en instalaciones, funcionamiento o arranque y lo que hoy se conoce como sistemas con funciones de control utilizando lazos de PID en etapas.

A todo esto, se suma también la falta de conocimiento dentro del sector de diagramas en los cuales se encuentran la elaboración de algoritmos. Entonces, se puede encontrar ejemplos donde la mayoría de los controles son configurados a modo manual para que el mismo usuario sea quien varíe los parámetros constantes a fin de conseguir la respuesta ideal deseada.

También existen los controles en modo automático, en ellos podemos apreciar que usualmente el trabajo derivativo que deberían realizar, está suspendido. Entre las razones más evidentes, tenemos que la configuración de controladores no es considerada un trabajo tan simple como parece, y también un poco tedioso. Eso quiere decir que se necesita un conocimiento previo, el cual debería estar enfocado en los fundamentos del trabajo que necesita realizar los procesos tanto físicos como programables, que son controlados basándose en la teoría de control propia.

Acotando también algunas posibles razones entre las que clasifican el control PID con un muy limitado desempeño, se involucran los inconvenientes que representan la aplicación de instrumentaciones y equipos con periféricos que se necesitan para la generación de los parámetros variables que se emplean en el lazo de control. Entre estos periféricos están, sensores, comunicadores, puntos de obtención de datos o actuadores, etc.

Dentro de los más importantes problemas que tienen los actuadores se encuentran los desniveles de dimensión, se encuentran en cierta forma subdimensionados y generan inconvenientes en los valores con los que se necesitan trabajar. Con respecto a la histéresis generada, produce una no linealidad que es importante porque afecta en la función de un control PID. Todo esto genera que los periféricos que son necesarios dentro de la planta para su correcto funcionamiento, se encuentren en una calibración incorrecta. Y como un efecto dominó, los mecanismos de filtración de información no serían los adecuados y produce una débil filtración. Esto resumiría que el sistema de control no se encuentre apto para ser utilizado en acciones de tiempo real en todos los ámbitos posibles.

Se puede considerar realizar algunas mejoras poco a poco para conseguir un mejor desempeño en labores de tipo industrial. Debido a la oferta y demanda que se genera en una industria, la calidad aumenta a medida que la competencia también. Entonces, se necesita considerar que si se quiere llegar a un aumento en la calidad en el producto final; el lazo de control debería tener menos errores y más precisión.

2.6.1. Principio de realimentación.

Este principio se ha originado por algo muy simple y necesario. Y es que a medida que el tiempo ha pasado, desde que se propuso la realimentación como una etapa muy importante en procesos de control, esto

ha ayudado muchísimo en poder realizar cambios positivos con respecto a la evolución que ha tenido la tecnología en este campo. Entre los ámbitos en los cuales la realimentación ha sido un completo éxito están las comunicaciones, controles e instrumentaciones. Lo ideal es entender la realimentación como un proceso en el cual los valores de entrada son independientes del proceso, pero el proceso depende directamente de esas variables.

Entonces podemos dejar expresado algo como, la realimentación se enfoca en poder aumentar una variable manipulable en el momento de que la variable de un proceso sea menor al valor de referencia, y reducirla en el momento de que ésta vaya aumentando demasiado.

Para esto, se consideró el nombre de realimentación de tipo negativa, pues, la variable que es manipulable se traslada en el sentido opuesto con la variable que es del proceso. En la figura 2.11 se muestra un ejemplo que permita entender mejor este tipo de concepto, este diagrama de bloques, se puede apreciar la relación entre el proceso y el controlador; y gracias a las flechas, podemos apreciar el flujo del sistema.

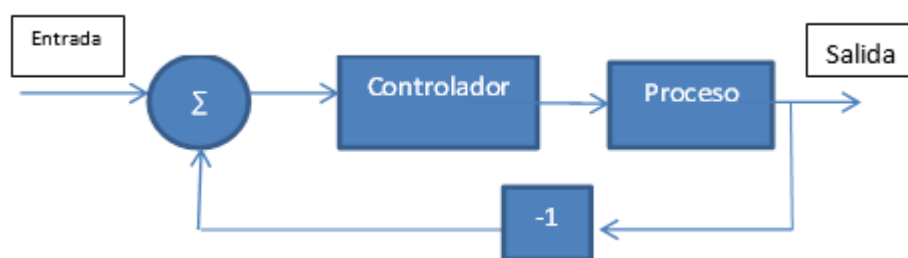


Figura 2. 11: Diagrama de bloques de un sistema de control de procesos.
Elaborado por: Autor.

Podemos darnos cuenta que se realiza una sumatoria en la entrada en la cual, en un primer instante será cero la realimentación y se tendrá únicamente la entrada directa al controlador. Al ver el diagrama se denota que tanto el controlador y el proceso están en un lazo de realimentación donde la indicación del uno negativo nos sirve únicamente para tener la

constancia de que la información que vuelve a la entrada será contraria a la última salida actual.

2.6.2. Control ON-OFF.

Se puede expresar matemáticamente la realimentación como:

$$u = \begin{cases} u_{max} & e > 0 \\ u_{min} & e < 0 \end{cases}$$

Y decimos que si $e = y_{sp} - y$, habrá una diferencia entre los valores referenciados por un operador y lo que se tiene de salida como un valor de medida del proceso que se realizó. A esto se lo considera como un valor de error o técnicamente hablando es un error de control. Es así entonces, que cuando esta ecuación de control se utilice, se creará siempre una acción correctiva máxima. Esta nos servirá de referencia para diferenciar dos tipos de acciones distintas. Se puede considerar este tipo de realimentación como control On-Off debido a su brusco cambio de estado. Con respecto a su complejidad, es sencilla. No se toman en cuenta tantos parámetros que se tengan que calibrar antes de usarlo. Únicamente se necesita establecer la acción máxima y la acción mínima a realizar durante el proceso de obtención de la señal de control. Es evidente que cuando el valor del error es igual a cero, la acción puede oscilar ya que no está específicamente definida en ella.

2.6.3. Control Proporcional.

El inconveniente principal que tiene el control On-Off se enfoca directamente a las acciones inmediatas que realiza cuando los errores entran en dos rangos distintos, entonces lo que sucede es que no hay una manipulación gradual de las acciones, sino cambios bruscos. Lo que a veces no funciona correctamente cuando se necesitan acciones exactas, entonces tenemos el control proporcional, que se va a encargar de realizar acciones

sutiles dependiendo de cuan alto o bajo sea el error de control. En la figura 2.11 se aprecia la relación que establece un control proporcional al momento de realizar una acción según el rango de valores establecidos. Se puede definir como una función de tipo no lineal $u=f_{ce}$, se entiende que es dependiente completamente del error de control que se va generando.

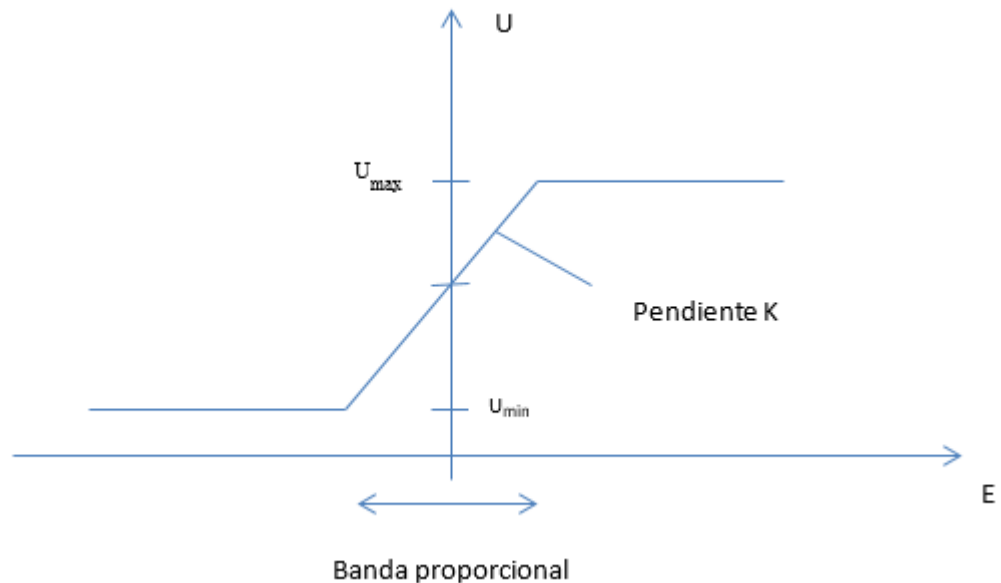


Figura 2. 12: Función de un control proporcional con error de control U.
Elaborado por: Autor.

Para establecer una cualidad del controlador proporcional primero se necesita establecer límites o rangos de acción, para el ejemplo de la imagen anterior utilizaríamos U_{max} y también un U_{min} dentro de las variables de control. Los valores de límite lineales pueden ser establecidos, tanto por la misma pendiente que es dada en la curva propia de la función o por los rangos que establecen la linealidad en la misma curva característica B_p . Por lo cual el rango que se tiene está centrado por los lados del valor de referencia. Se considera entonces que la ganancia del controlador está relacionada con la banda proporcional debido a:

$$U_{max} - U_{min} = KP_b$$

Si queremos establecer un valor para $U_{max} - U_{min} = 100$, entonces vamos a tener:

$$K = \frac{100}{P_b}$$

Nos podemos fijar que en el momento que reemplazamos en la formula con valores de error muy grandes, el proporcional trabajaría como controlador on-off.

2.6.4. Análisis Estático de los Sistemas Realimentados.

Varias características que tiene un sistema de control se entienden gracias a una revisión estática simple. Con ello, se produce la implementación de una “característica estática”, que se enfoca en relacionar una curva con sus respectivos datos de salida en la variable estacionaria Y , teniendo en cuenta también la función creada en la entrada U . En la siguiente figura 2. 13 podemos entender un poco la relación que tienen entre ellas, y sus correspondencias a medida que se vayan generando.

Fíjese que en las circunstancias de que el proceso que se quiere involucrar es estable, se puede entender la curva con una relación física. Si se quiere llegar a un rango de acción deseado, se tiene que trabajar con las señales de control, aquellas que intervienen en el resultado de salida; con el fin de tomar en cuenta aquella característica estática que es muy relevante durante el propio proceso. Ésta también se puede utilizar en el dimensionamiento de los tamaños con respecto a los actuadores, indicar los rangos de un sensor. Con respecto a la ganancia estática, es posible conseguir sus variaciones al momento de evaluar la característica estática.

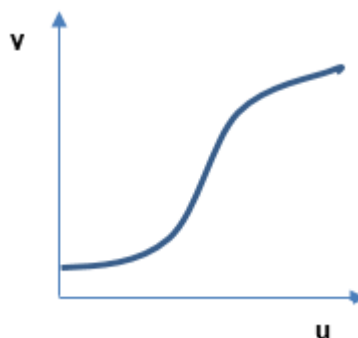


Figura 2. 13: Características estática de un proceso.
Elaborado por: Autor.

2.6.5. Control PID.

Cuando se trata de entender el control de tipo proporcional de manera individual, podemos fijarnos que tiene ciertas desventajas, y la más evidente sería el problema que tiene al generar un error fijo, o más conocido como error estacionario, el cual en su mayoría de veces difiere de cero. Si se quiere llevar eso a la práctica, apreciamos que los algoritmos generados para establecer este tipo de control poseen una complejidad superior al control proporcional únicamente. Entonces, al ver las características tanto del control proporcional, el derivativo y el integral; es claro que se complementan mucho entre ellos mismos, con el fin de llegar a una respuesta algo inteligente por parte del control. Debido a que juega mucho con los parámetros de entrada y sus valores actuales y anteriores, su última respuesta siempre será mejor a la anterior. Es, así pues, que se puede considerar la estructura PID como algo muy útil en términos de control. Para querer representar matemáticamente esta función tenemos lo siguiente:

$$u(t) = K (e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt})$$

Asumiendo que, u es una variable de control, y e representa un error de control el cual es otorgado por la ecuación antes mencionada como $e=Y_{sp}-Y$. Al tener esto, vemos que la variable de control se establece como una sumatoria de tres valores: usando una P para reconocer al valor proporcional que está unido al error; siguiendo con I , para entender al valor que se genera proporcionalmente a la integral relacionada con el error de control. Y con D , para establecer al valor proporcional del error con su primera derivada. El controlador posee elementos que se distinguen entre: el tiempo de la integral como T_i , el valor de ganancia generada por la proporcional K , y, por último, el tiempo derivativo establecido como T_d .

2.6.6. Parámetros PID.

2.6.6.1. Acción Proporcional.

Para realizar un control proporcional neto, la ecuación necesaria para establecer un proceso de este tipo llega a:

$$u(t) = Ke(t) + U_b$$

La respuesta del proceso será una acción dependiente puramente del error de control. Se utiliza U_b como una variable que nos ayuda en crear un reset del control. En el momento de que el error en control e se reduce a cero, el parámetro del control consigue una relación tal como $u(t) = U_b$. Esta variable normalmente se establece como $(U_{\max} + U_{\min}) / 2$, aunque en la práctica, se utiliza un ajuste de forma manual con la finalidad de que, con el error de control, se consiga una relación nula o cero dentro del estado estacionario, obviamente utilizando un valor de referencia.

2.6.6.2. Análisis Estático.

Varias de las propiedades dentro de un control de tipo proporcional, son comprensibles según se establezca primero, los parámetros estáticos en el control. Para poder relacionarlo un poco más práctico, vamos a realizar un diagrama de bloques como tenemos en la figura 2. 14, donde se puede observar que se ha utilizado una malla realimentada sencilla, en donde vamos a comparar la parte de procesos y la parte de controlador con cambios de tipos aleatorios.

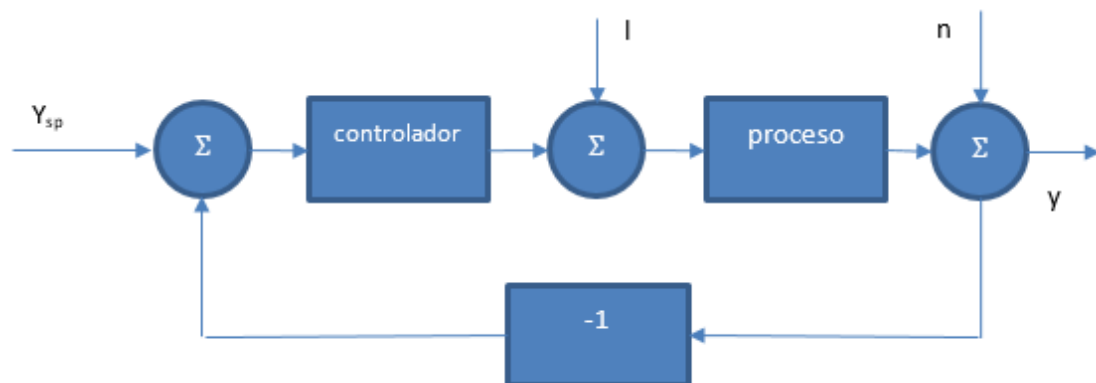


Figura 2. 14: Flujo de bloques de una malla realimentada sencilla.
Elaborado por: Autor.

Vamos a interpretar este diagrama, entendiendo que este control posee un proceso proporcional el cual está representado por la siguiente ecuación:

$$x = K_p(u + l)$$

Sabiendo que X está representando un valor variable dentro del proceso anterior, U es un dato cambiante del control, y l, es un cambio brusco de una carga en K_p , y representa una ganancia fija en el proceso. Las ecuaciones a continuación se pueden conseguir siguiendo el flujo del diagrama de tal manera que:

$$y = x + n$$

$$x = K_p(u + l)$$

$$u = K(y_{sp} - y) + u_b$$

En el momento de querer realizar la simplificación de las variables que estén en común llegamos a la interacción entre la referencia Y_{sp} , la variable que se utiliza durante el proceso llamada x, un ruido de medida del proceso n y la perturbación dada en una carga llamada l:

$$x = \frac{KK_p}{1 + KK_p}(y_{sp} - n) + \frac{K_p}{1 + KK_p}(l + u_b)$$

De la ecuación anterior podemos apreciar algunas características poco comunes dentro del sistema en una malla cerrada. Si asumimos que u_b y n se convierten en cero, vamos a tener una ganancia de malla considerablemente alta para poder establecer que la respuesta del proceso X, sea muy parecida a la variable Y_{sp} . Si se necesita que el sistema sea considerado inmune a las perturbaciones posibles en la carga l se debe asumir que en la ganancia de lazo deberá existir una magnitud grande.

Aun así, cuando n es igual a cero, de la ecuación anterior al seguir la medición por parte del ruido n, afectara en la respuesta por parte del proceso en similitud a como lo haría al tener la variable Y_{sp} .

Para poder eludir el hecho de la sensibilidad que pueda tener el sistema con respecto al ruido de medición, no se debería establecer una ganancia muy elevada de lazo. Pues, cuando se realiza una polarización en U_b del controlador afectara de forma similar a como lo haría la perturbación que afecta a la carga. Entonces, es claro cuando el esquema de una ganancia en forma de lazo se puede relacionar entre dos procesos de control diferentes, es decir que se genera una salida compleja con la que se va a generar una formulación en donde se seleccione una ganancia de lazo enfocada al sistema.

Necesitamos seleccionar un objetivo que se enfoque en el control propio de la aplicación que se necesita.

El error estacionario generado normalmente debido a los controles proporcionales aplicados, se debe deducir cuando se tiene como referencia la ecuación anterior. Cuando el error de control se establece como cero se entiende que $u=u_b$ en un estado estacionario en donde el control este realimentado. Es decir, que en momento de una operación se condiciona con parámetros, se puede establecer ese error como cero y cambiando las polarizaciones existentes en U_b dentro del controlador.

Se ha realizado un análisis estático asumiendo que el análisis está basado en un proceso el cual tiene como base un modelo fijo. Si queremos involucrarnos en la dinámica que tiene un sistema, se va a enfocar en el comportamiento que tiene un sistema en un lazo cerrado. El inconveniente principal es la inestabilidad de un sistema en el momento de tener unas altas ganancias de lazo. Prácticamente, depende mucho del comportamiento de los datos en la entrada y su realimentación.

Si se entiende como un reset a la opción de volver a generar nuevos pasos en las acciones principales del sistema. El origen de una acción integral de un controlador PID.

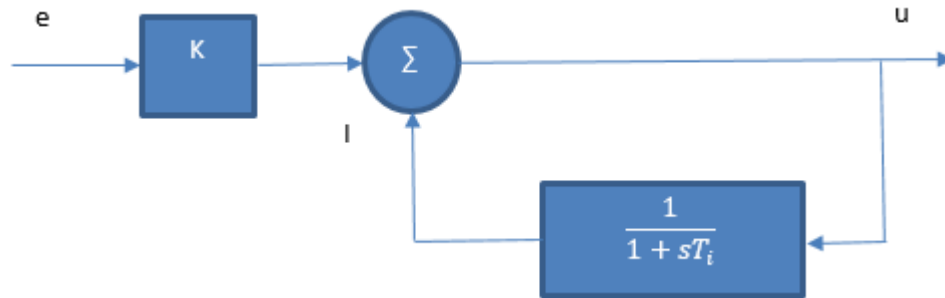


Figura 2. 15: Diagrama de flujo de una respuesta integral con respuesta de reset.
Elaborado por: Autor.

La representación del diagrama es empleada normalmente en los diseños del circuito de muchos elaboradores de controles. Para poder interpretar el circuito se podría interpretar las siguientes ecuaciones:

$$u = Ke + I$$

$$T_i \frac{dl}{dt} + I = u$$

Si se simplifican u entre las ecuaciones da como resultado:

$$T_i \frac{dl}{dt} + I = Ke + I$$

Y tenemos:

$$T_i \frac{dl}{dt} = Ke$$

Lo que pudimos apreciar en la figura 2.15 es un controlador de forma integral y proporcional.

2.6.6.3. Acción Derivativa.

Un inconveniente con la acción derivada es que una derivada ideal tiene ganancia muy alta para señales de alta frecuencia. Esto significa que el ruido de medición de alta frecuencia generará grandes variaciones de la

señal de control. Se reduce el efecto del ruido de medición reemplazando el $K_d s$ por:

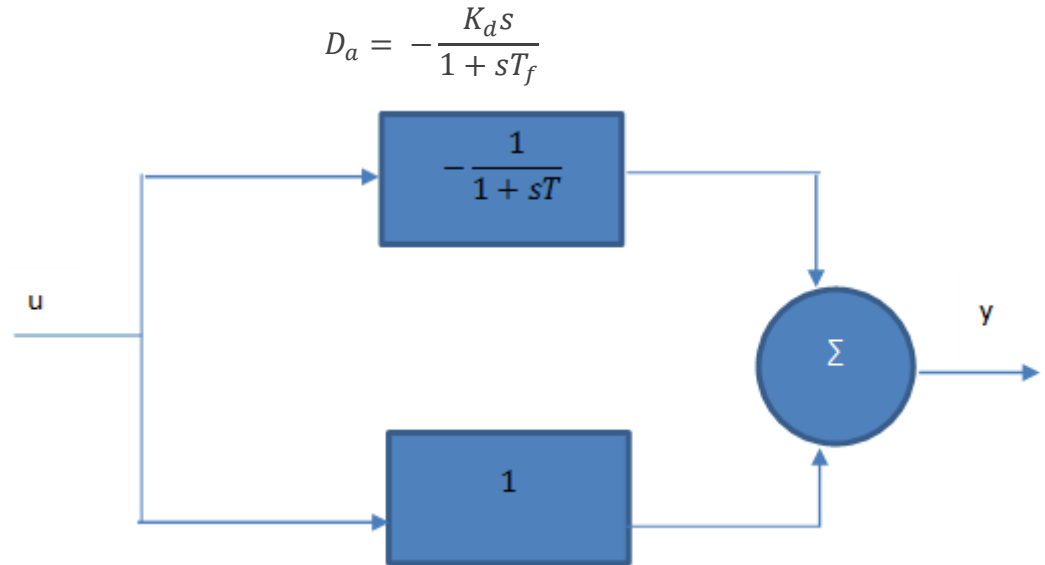


Figura 2. 16: Implementación de la función de transferencia $sT/(1 + sT)$ a la aproximación de la acción derivada.

Elaborado por: Autor.

Esto puede interpretarse como una derivada ideal que se filtra utilizando un sistema de primer orden con la constante de tiempo T_f . Para los pequeñas S la función de transferencia es aproximadamente $K_d s$ y para grandes S es igual a K_d/T_f . La aproximación actúa como una derivada para señales de baja frecuencia y como una ganancia constante para las señales de alta frecuencia. La ganancia de alta frecuencia es K_d/T_f . El tiempo de filtrado se elige como $K_d/k/N$, con N en el rango de 2 a 20. La función de transferencia de un controlador PID con una derivada filtrada es:

$$C(s) = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} + \frac{sT_d}{1 + \frac{sT_d}{N}} \right)$$

La ganancia de alta frecuencia del controlador es $K(1+N)$. En vez de filtrar únicamente la derivada, también es posible usar un controlador ideal y filtrar la señal medida por el sistema. La función de transferencia de ese controlador con la sección de filtrado sería:

$$C(s) = K \left(1 + \frac{1}{sT_i} + sT_d\right) \frac{1}{(1 + sT_f)^2}$$

Aquí un segundo filtrado es aplicado en la ecuación. Una implementación pronta de la acción derivada es mostrada en la figura 2.16. En este sistema, la derivada es mostrada como la diferencia entre la señal y la misma señal que fue filtrada anteriormente. La función de transferencia para el sistema quedaría como

$$C(s) = \left(1 - \frac{1}{sT}\right) = \frac{sT}{1 + sT} U(s)$$

Entonces, el sistema tiene la función de transferencia de $G(s) = sT/(1+sT)$, esta, se aproxima a una aplicación de una derivada para bajas frecuencias. Note que esta implementación otorga un filtrado automático en el mismo sistema.

CAPÍTULO 3: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Diseño y Simulación.

El objetivo de controlar la velocidad de un motor dc se logra mediante anchos de pulso de maneras consecutivas logrando así una velocidad estable que sea idéntica al valor seteado en la variable de proceso, el motor tiene acoplado un encoder digital o analógico el cual obtendrá la velocidad actual del sensor que servirá como la retroalimentación al lazo PID (Proporcional Integral Derivativo). A continuación, se describe una planta de procesos de control la cual servirá para el modelado de un sistema de PID de velocidad usando plataformas virtuales o softwares de instrumentación virtual como Labview.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques de las partes que integrarán al lazo de control PID en lazo cerrado, que son: Referencia o Set Point, Actuador, Planta, Sensor (Retroalimentación) y salida.

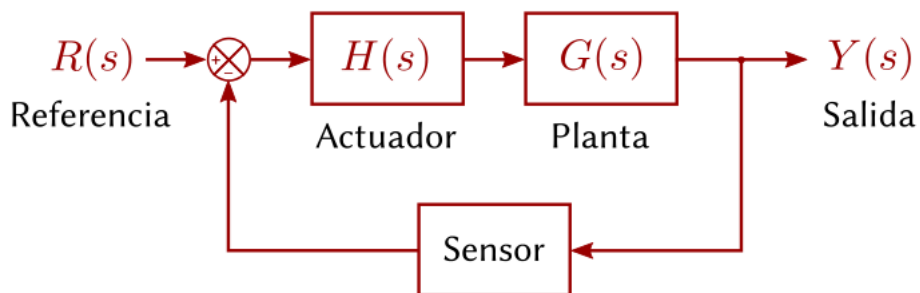


Figura 3. 1: Sistema PID de lazo cerrado.
Elaborado por: Autor.

3.2. Arquitectura de la planta de control.

En la figura 3. 2 se muestra la arquitectura de la planta de control, con el propósito lograr una eficiencia al momento de usar la interfaz USB DAQ 6008 con la planta de procesos. Es importante mencionar que, para esto, se

ayuda mediante borneras los cuales serán para ubicar las salidas discretas y entradas pertinentes usando el software de instrumentación LabView.

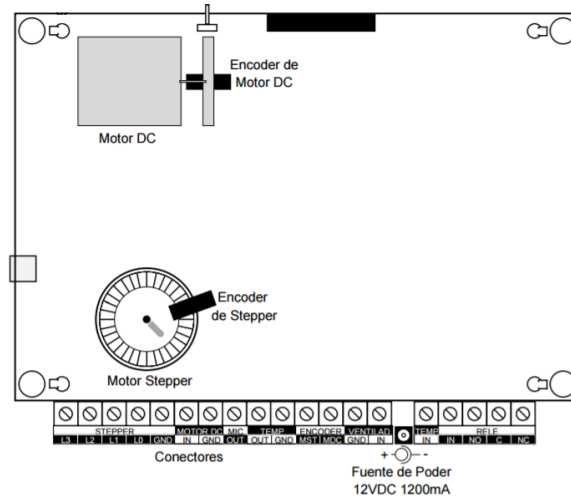


Figura 3. 2: Arquitectura de la planta.
Fuente: (National Instruments, 2017)

Además, para el desarrollo se va a utilizar la USB DAQ 6008 (véase Figura 3. 3) que se usara conjuntamente con el Labview el cual configurara las salidas y entradas discretas que se conectarán a los borneros de la planta de proceso, tal como se muestra en la figura 3. 4.

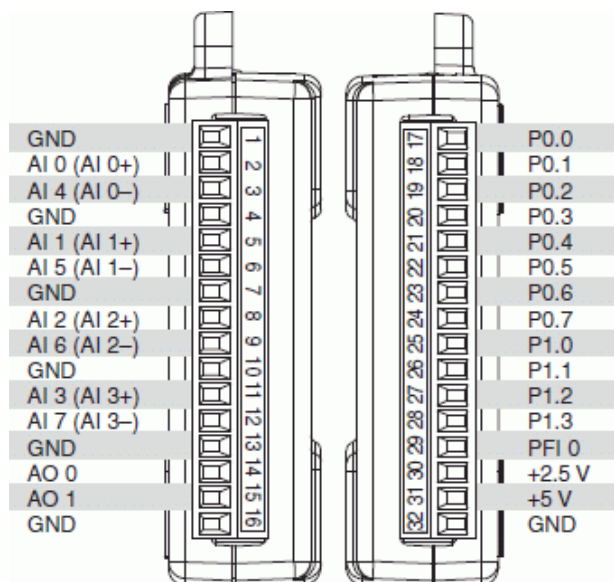


Figura 3. 3: Diseño de la tarjeta USB DAQ.
Fuente: (National Instruments, 2017)

Entre los demás componentes también se puede mencionar los encoder digitales y analógicos nos permiten medir de forma exacta el número de pulso para medir la velocidad del motor; otro componente es son los transistores los cuales nos permiten conmutar y así controlar la velocidad del motor mediante valores analógicos.

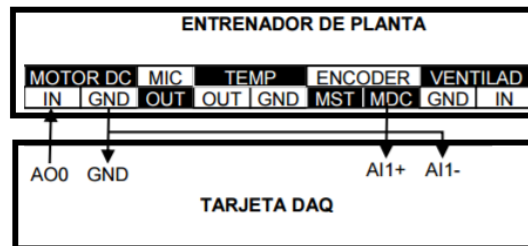


Figura 3. 4: Conexiones de la planta con el DAQ.
Fuente: (National Instruments, 2017)

3.3. Simulación en Labview del motor DC.

Para el caso del motor DC, este cumple la función de salida el cual será controlado mediante el lazo PID. Dependiendo de las ganancias que se configuren la respuesta se verá afectada al cambiar el control derivativo, integral y proporcional. La velocidad y el tiempo de asentamiento sufrirá un retardo o adelanto dependiendo si la respuesta del PID es más agresiva o robusta y a su vez si esta tiene un tiempo de reacción mayor o menor.

Para la planta de procesos se usará un motor DC el cual tendrá transistores y sus respectivas protecciones para ser usado por una entrada analógica o digital usando anchos de pulso, los cuales son de media potencia y operan con corriente continua. Estos motores funcionan con 12 V, aunque operen entre rangos de voltajes mínimos de 2 V a voltajes máximos de 13 V en corriente continua, estos parámetros de voltajes tienen una influencia en la velocidad.

A continuación, se muestra en la figura 3.5 el diseño del instrumento virtual (VI) para la simulación de la velocidad del motor DC.

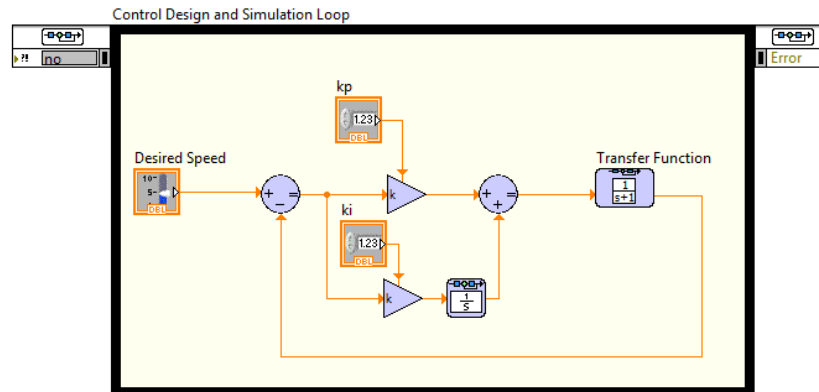


Figura 3. 5: Simulación de la velocidad de un motor dc
Elaborado por: Autor.

3.4. Modelado del motor DC (Herramienta Ident de Matlab).

En esta sección se realiza el modelado del motor DC desde MatLab. Se toma como referencia una tabla de voltaje vs velocidad, donde la entrada será la velocidad y la salida serán los voltajes (véase la figura 3.6).

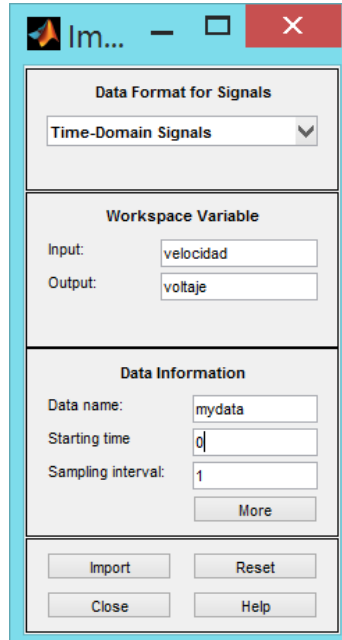


Figura 3. 6: Formato de datos para señales en el dominio del tiempo.
Elaborado por: Autor.

Al exportar los datos desde la figura 3.6, se visualizarán en la herramienta Ident los datos importados y su respectivo ploteo, tal como se muestra en la figura 3.7.

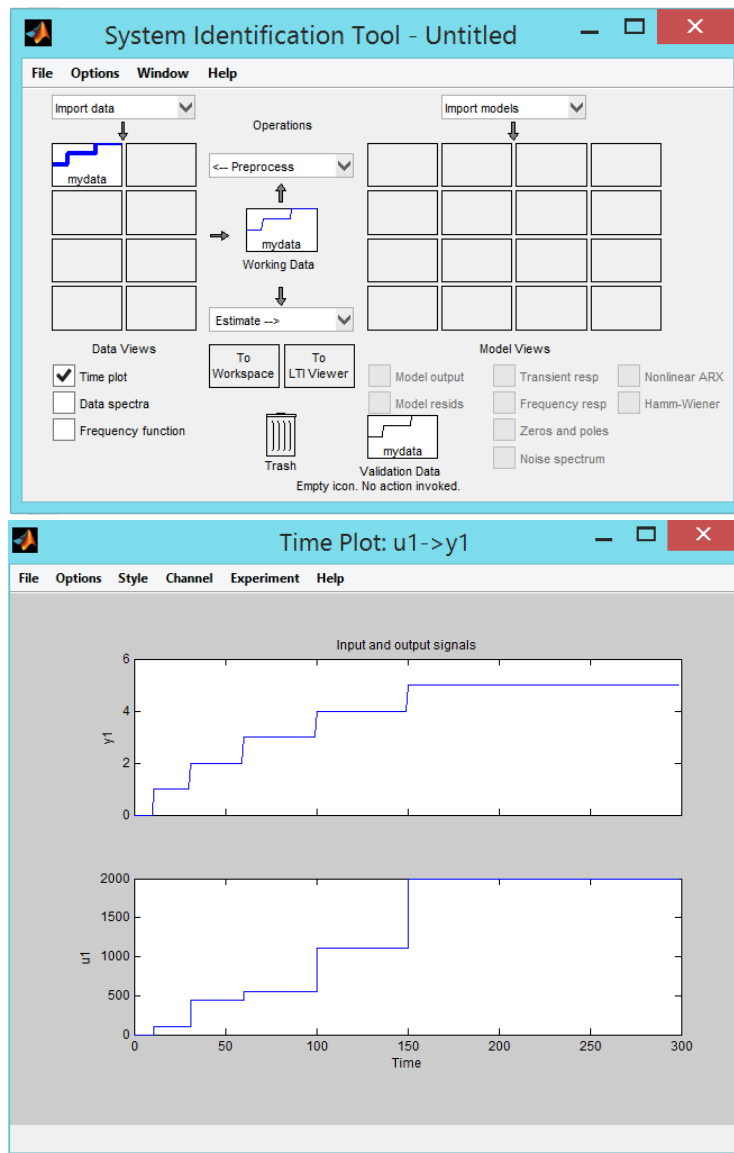


Figura 3. 7: Herramienta de Identificación (Ident) de MatLab.
Elaborado por: Autor.

Durante el diseño se procederá a estimar el modelo del proceso que se muestran en las figuras 3.8 y 3.9. Estas muestran los parámetros si se desean agregar retardo, ceros o si se configuran como sistemas de 1 orden o n orden, las configuraciones deben ser modificadas para obtener un rango mayor de porcentaje de exactitud.

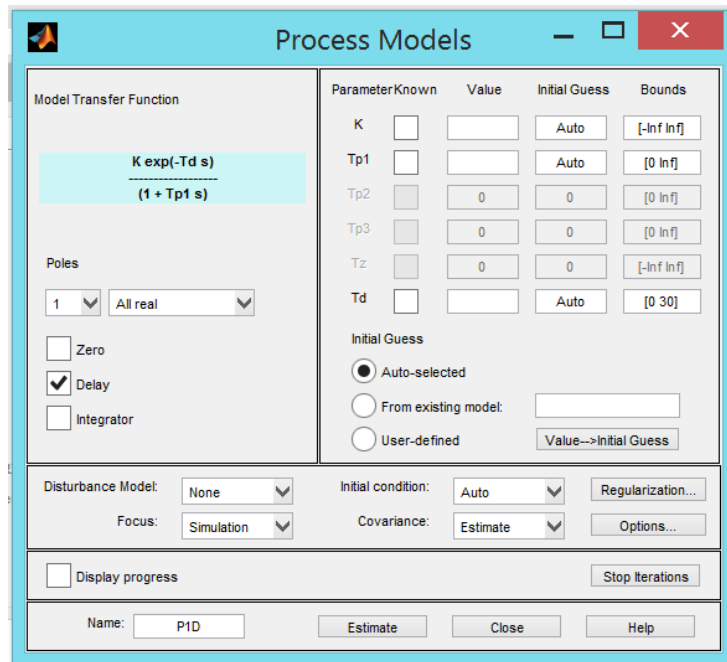


Figura 3. 8: Parámetros Modelo del proceso.
Elaborado por: Autor.

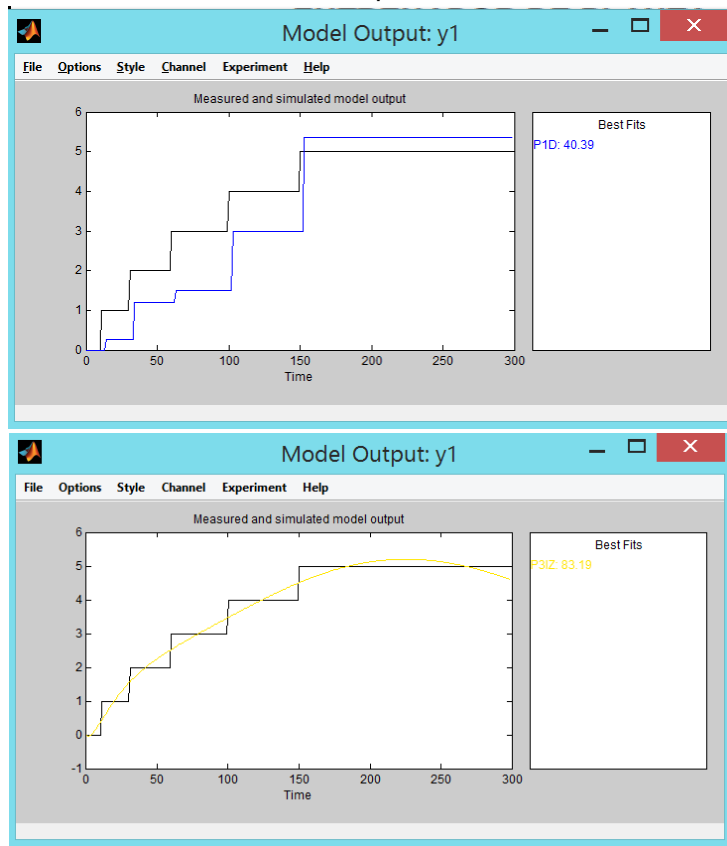


Figura 3. 9: Porcentaje de exactitud del modelo.
Elaborado por: Autor.

3.5. Función de transferencia de motor DC.

A continuación, se describe la función de transferencia encontrada al usar la herramienta Ident (véase figura 3.10), dicha función servirá para hallar los parámetros de PID usando la herramienta de simulación MatLab/Simulink que facilitan la respuesta óptima para el control de velocidad.

```
Process model with transfer function:
      1+Tz*s
G(s) = Kp * -----
      s(1+Tp1*s)(1+Tp2*s)(1+Tp3*s)

      Kp = -1.5437e-05
      Tp1 = 5.4597
      Tp2 = 68.43
      Tp3 = 68.889
      Tz = 2.0693

An additive ARMA disturbance model has been estimated
```

Figura 3. 10: Función de transferencia.
Elaborado por: Autor.

De acuerdo a la función de transferencia obtenida se procede a implementar en Simulink el diagrama respectivo PID que se muestra en la figura 3.11. Se empezará por proceder a auto tuner PID (véase figura 3.12) para que el programa encuentre los parámetros ideales.

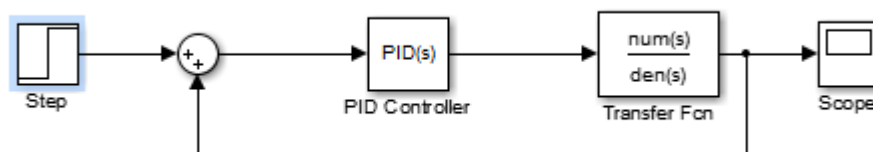


Figura 3. 11: Diseño en Simulink del PID.
Elaborado por: Autor.

Posteriormente, nos mostrará los parámetros respectivos del control proporcional, integral y derivativo, tal como se muestra en la figura 3.13.

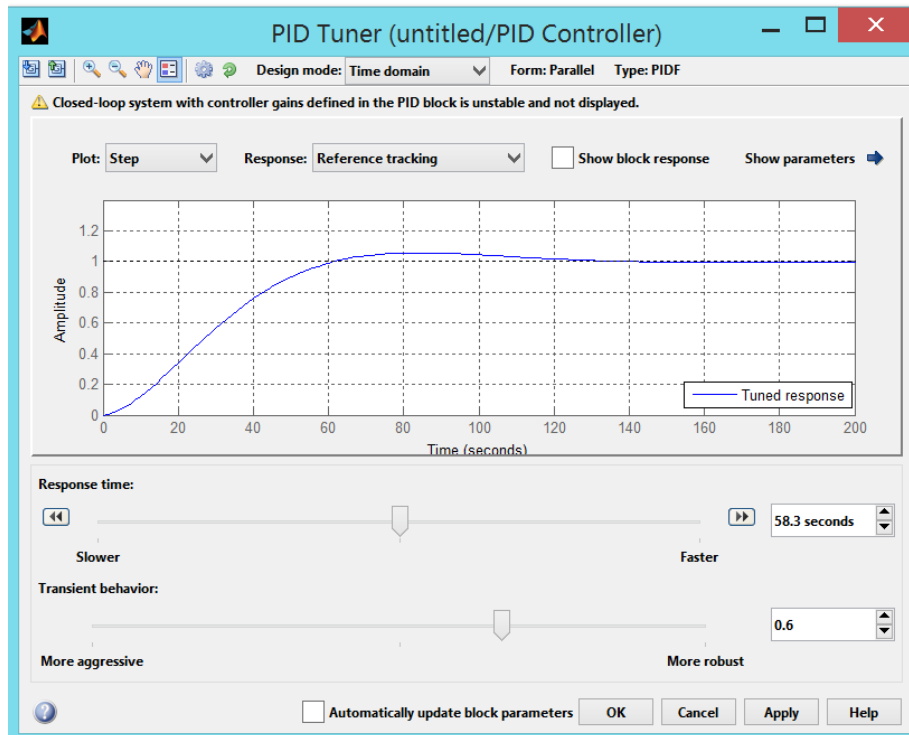


Figura 3. 12: PID Tuner Tool.

Elaborado por: Autor.

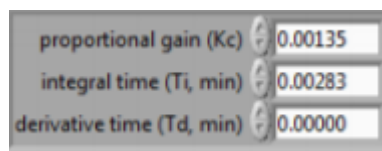


Figura 3. 13: Valores de ganancias.

Elaborado por: Autor.

3.6. Implementación de instrumentación virtual del control PID.

La implementación se desarrolla en LabView debido a que realiza todo el proceso matemático para el control de las variables de salida mediante un bloque PID simple (véase la figura 3.14). Este proceso usa el método experimental de Ziegler Nichols para encontrar los valores óptimos.

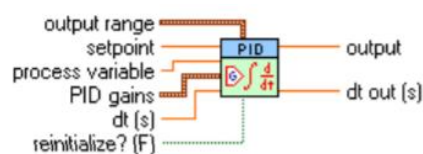


Figura 3. 14: Estructura de un control PID en LabView.

Elaborado por: Autor.

A continuación, describiremos el procedimiento paso a paso el proceso de control de velocidad de un motor. El bloque PID consta con parámetros que necesitan ser parametrizados. Por ejemplo, Output Range, especifica el rango superior e inferior de la salida del bloque; Set point, variable a la cual se desea llegar en un régimen estable; Process Variable, es la medición actual la cual será la retroalimentación de la planta; PID gains, son los valores proporcional, integral y derivativo los cuales permitirá una respuesta más rápida y estable del sistema; Output, es la variable de salida que será como actuador final que controlará la velocidad del motor DC.

En la figura 3.15 se muestra los bloques de control los cuales permiten la lectura optima mediante los encoder obteniendo la velocidad actual del motor DC, la cual servirá como retroalimentación al lazo. Dichos valores son obtenidos por el DAQ asistente configurándolo como entrada y la salida, el cual dará los anchos de pulso pertinente o los voltajes adecuados para el control de lazo cerrado.

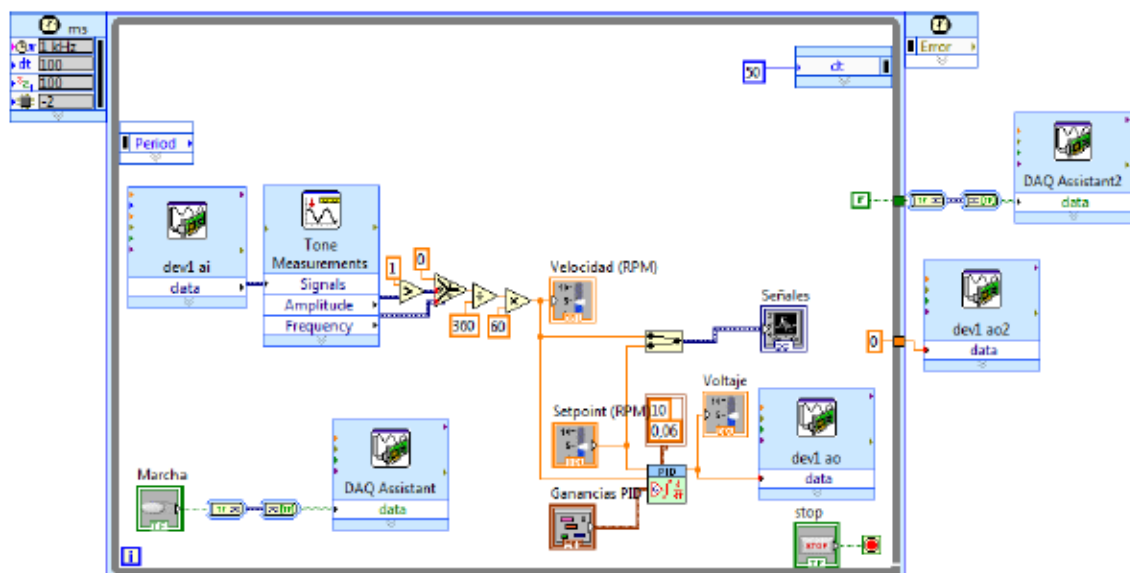


Figura 3. 15: Diagrama de bloques LabView.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.16 se muestra el diseño del GUIDE final como resultado final del instrumento virtual que se ha diseñado en la 3.15. La interfaz gráfica permitirá al usuario controlar de forma eficiente los parámetros como el set point del control PID para el motor DC.

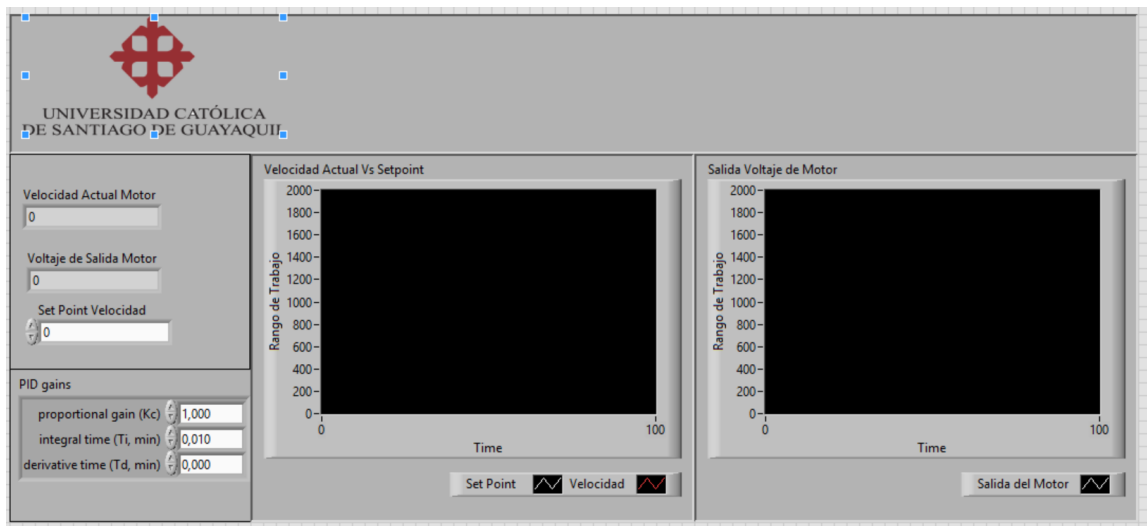


Figura 3. 16: Panel Frontal Labview.
Elaborado por: Autor.

Para garantizar que el diseño cumple con las condiciones propuestas, es necesario utilizar la interfaz de adquisición de datos en tiempo real, la misma que se describe en la siguiente sección 3.6.1.

3.6.1. Interface NI USB DAQ 6008.

La tarjeta USB DAQ 6008 que se muestra en la figura 3.17 se utiliza como dispositivo de adquisición de datos. Está compuesta por 8 entradas analógicas de 12 bits, 2 salidas analógicas, entradas y salidas digitales discretas, las cuales nos servirán como actuadores del entorno de la planta de procesos y setea la velocidad del motor DC. También, brinda la posibilidad de tener un programa el cual adquiera datos en tiempo real los cuales serán interpretados en el entorno interno de programación por bloques que posee LabView.



Figura 3. 17: Microprocesador Arduino UNO.
Fuente: (National Instruments, 2017)

3.6.2. Encoder Herradura.

Para el control de la planta de procesos es necesario el uso de encoder que se basa en el principio de exploración fotoeléctrica, dicha lectura se basa en la rotación de un disco el cual posee unas retículas radiales, mientras más retículas tengan mayor será la precisión. Utilizará un encoder de tipo decremento el cual poseerá 360 hendiduras revoluciones, cada una de estas representará 1 grado tal como se muestra en la figura 3.18. Este mismo es utilizado sobre muchas placas de control de velocidad.

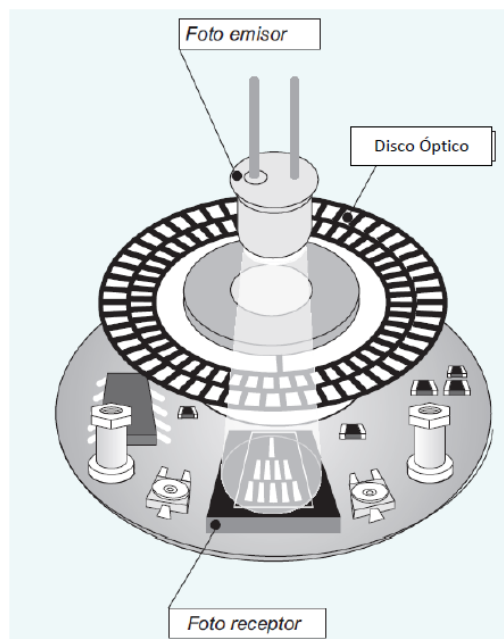


Figura 3. 18: Principio de Funcionamiento de los encoder incrementales.
Fuente: (National Instruments, 2017)

3.6.3. Driver de colector abierto NPN para el motor DC.

Los colectores abiertos son usados para conmutar el accionado del motor DC, ya sean controles digitales y analógicos, estos controles tienen una limitación de corriente que puede ser adaptado a las diferentes aplicaciones. En la figura 3.19 se muestran la configuración del transistor de colector abierto. Este driver trabaja con voltajes DC entre 3.3 V y 5 V, donde 5 V es el nivel en el tope máximo del rango de trabajo del sistema. Los motores serán controlados mediante una señal de '0' (nivel bajo) o '5' (nivel alto).

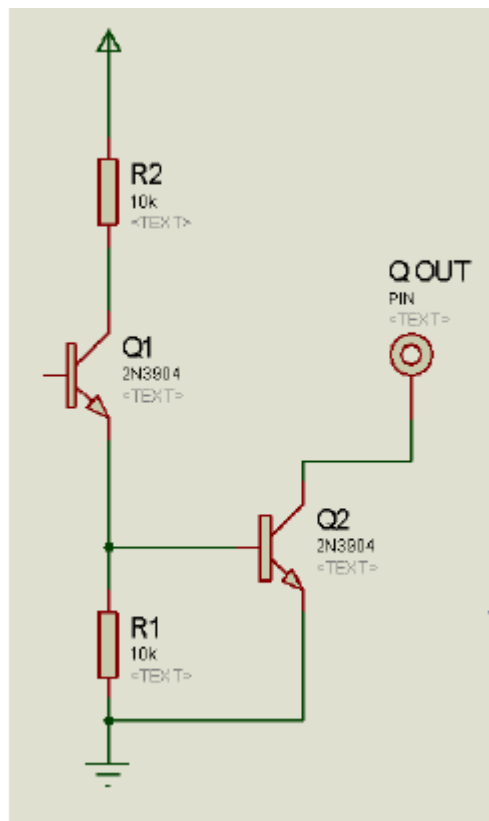


Figura 3. 19: Salida de colector abierto NPN
Fuente: Autor.

3.6.4. Configuración del sistema de adquisición de datos.

Declaración lazo while loop conforme se ejecute se quede en un bucle continuo sucesivamente hasta parar dicho bucle con una señal discreta de stop referencia del lazo figura 3.20.

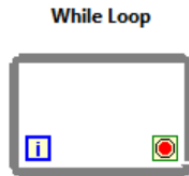


Figura 3. 20: Bloque While Loop Secuencia de bucle.
Elaborado por: Autor.

Declaración y adquisición de datos de entradas de encoder incremental con el DAQ asistente, tal como se ilustra en la figura 3.21; el cual nos permitirá acceder a las configuraciones pertinentes para el control de la Daq 6008:



Figura 3. 21: Bloque de adquisición de datos DAQ de Labview.
Elaborado por: Autor.

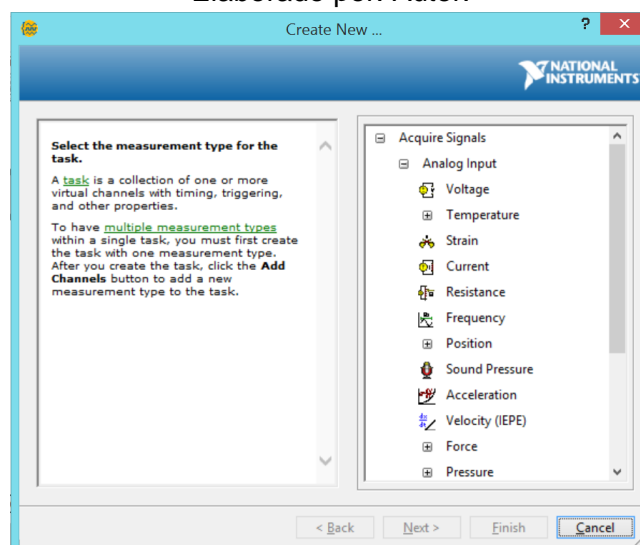


Figura 3. 22: Configuración del dato para la adquisición DAQ Assitent.
Elaborado por: Autor.

Se configura la adquisición de valores analógicos (véase la figura 3.22) del encoder a una entrada analógica de la Daq 6008, dicha lectura tiene rangos de 0 a 5 voltios.

Procedemos a configurar el canal físico, tal como se muestra en la figura 3.23 el cual servirá como entrada del encoder óptico el cual será la retroalimentación del lazo PID.

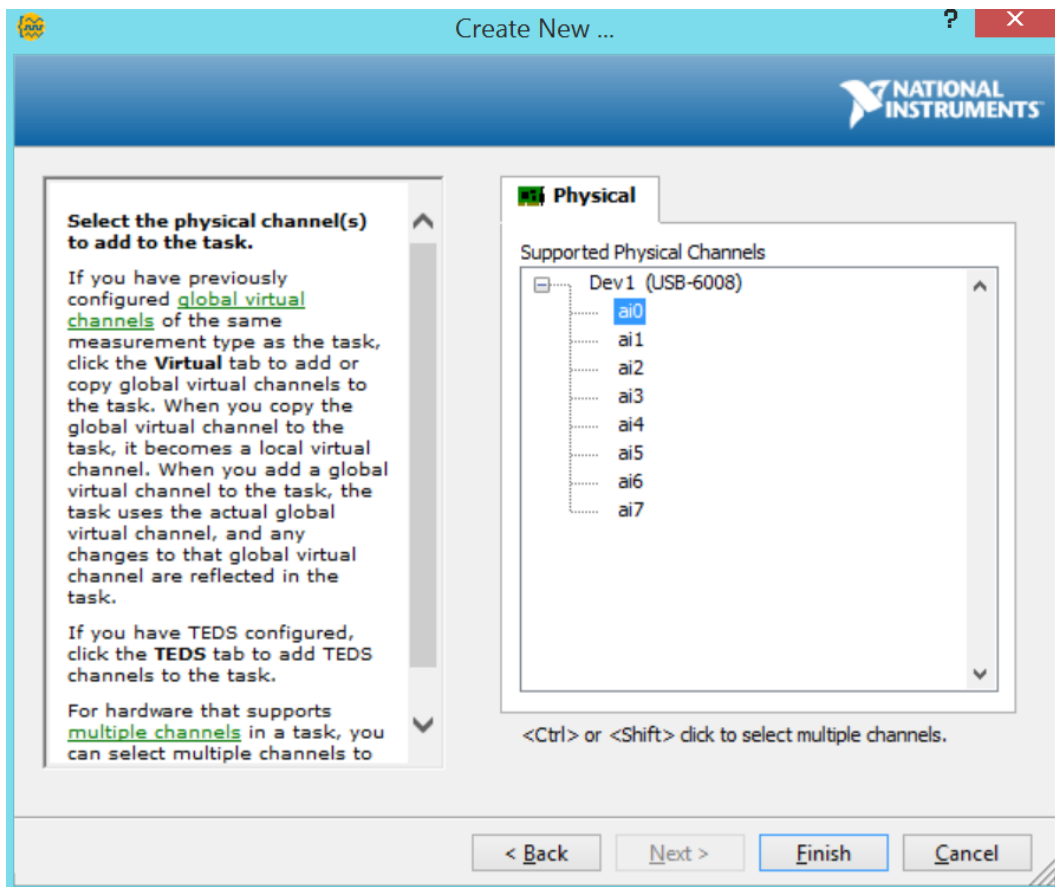


Figura 3. 23: Selección del Canal Analógico.

Elaborado por: Autor.

Deberemos configurar el rango de entrada analógico respectivo de 0 como valor mínimo y 5 voltios (véase la figura 3.24) como máximo para tener eficaz adquisición de datos.

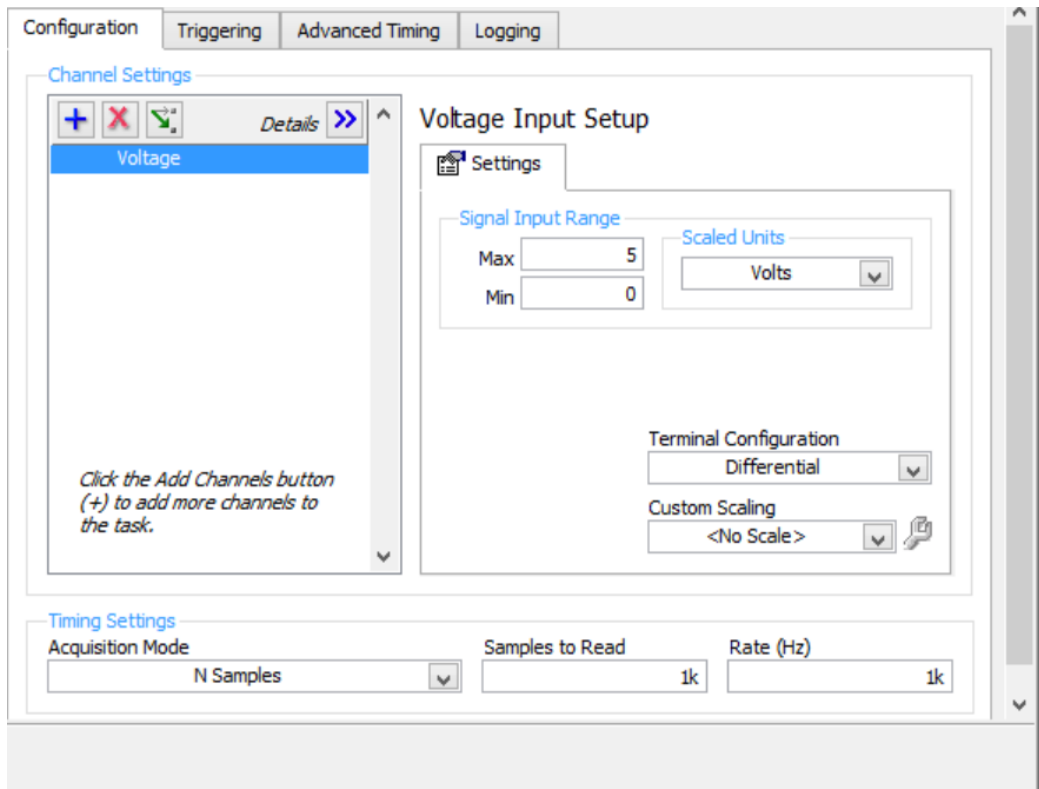


Figura 3. 24: Configuración del Canal Rango de operación.
Elaborado por: Autor.

La señal adquirida del Encoder en forma analógica entra a un bloque donde será procesará y mostrará resultados como la frecuencia y su amplitud, tal como se muestra en la figura 3.25.

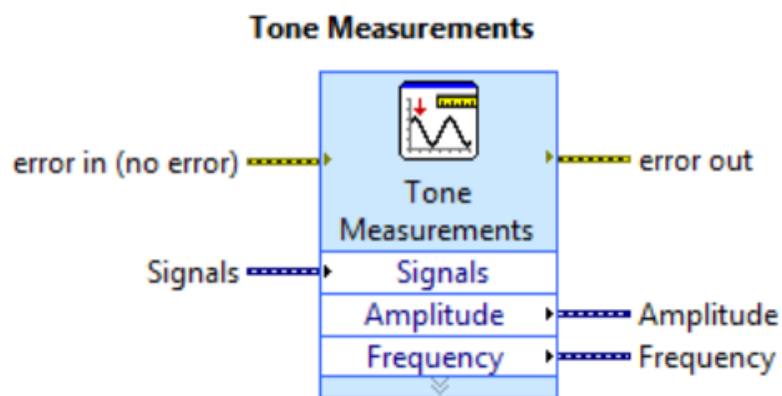


Figura 3. 25: Bloque de las métricas de LabView.
Elaborado por: Autor.

Si la amplitud del tono es mayor a uno 1 el motor está en estado encendido, por lo cual, el Encoder entregará una señal de tren de pulsos.

Entonces la frecuencia medida sí será la cantidad de pulsos por segundo, seguido se convierte dichos pulsos a un valor de velocidad en rpm, tal como se ilustra en la figura 3.26.

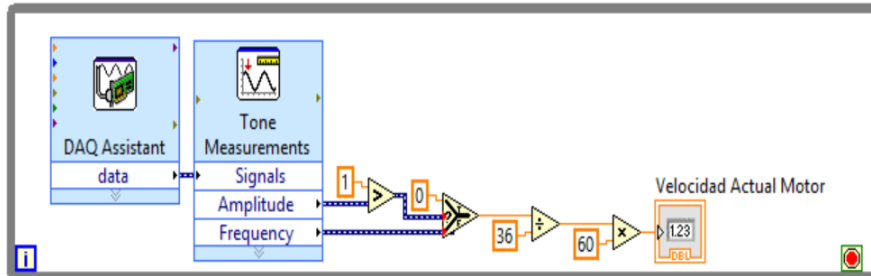


Figura 3. 26: Diagrama para sacar velocidad del encoder.
Elaborado por: Autor.

Posteriormente, se procede a agregar el bloque PID y crear variables correspondientes a las ganancias, rangos de salida del PID y la variable de set point del controlador PID (véase la figura 3.27).

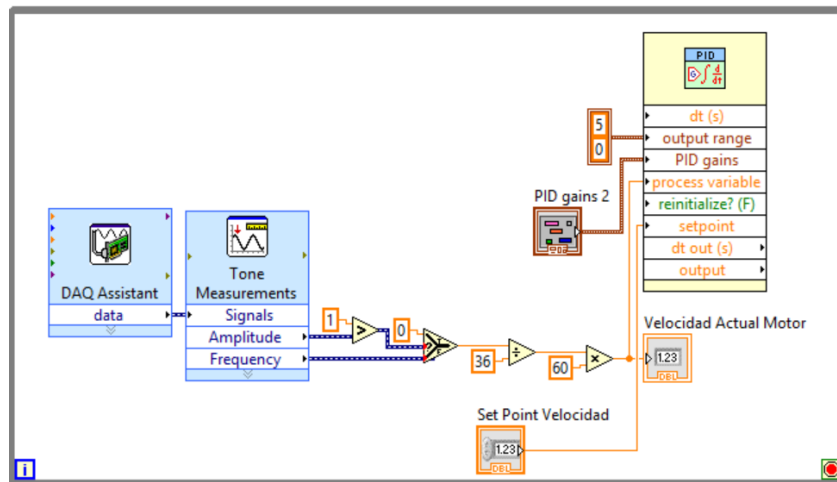


Figura 3. 27: Bloque de programación PID de LabView.
Elaborado por: Autor.

Posteriormente, la salida del controlador se configurará a una señal de salida analógica la cual servirá para controlar los anchos de pulsos necesarios movilizar el motor dc (véase la figura 3.28). Consiguiente se limitará el rango de operación del motor tal como se configura en la figura 3.29.

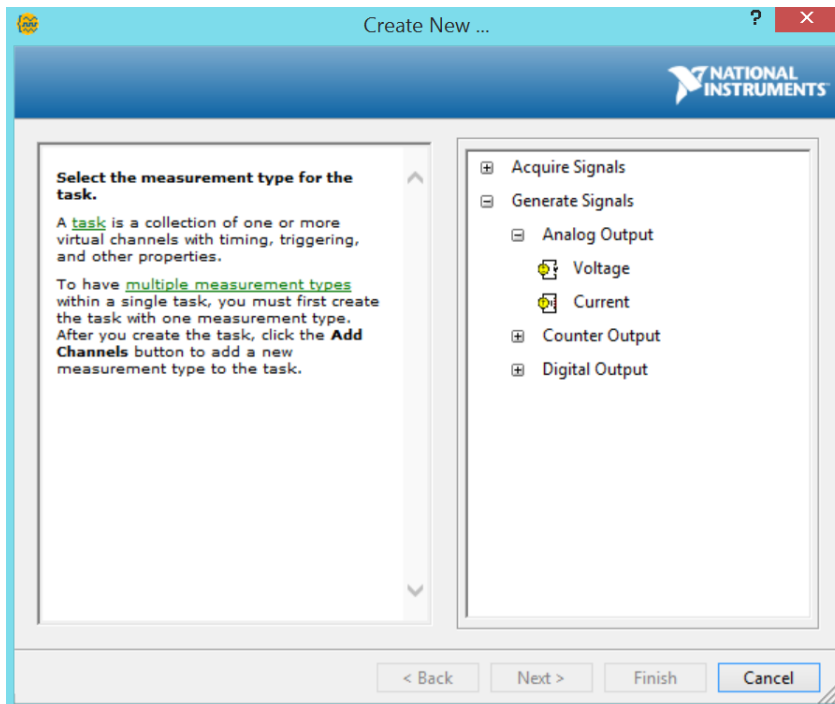


Figura 3. 28: Panel para crear múltiples métricas de adquisición de señales de voltaje y corriente de Labview.

Elaborado por: Autor.

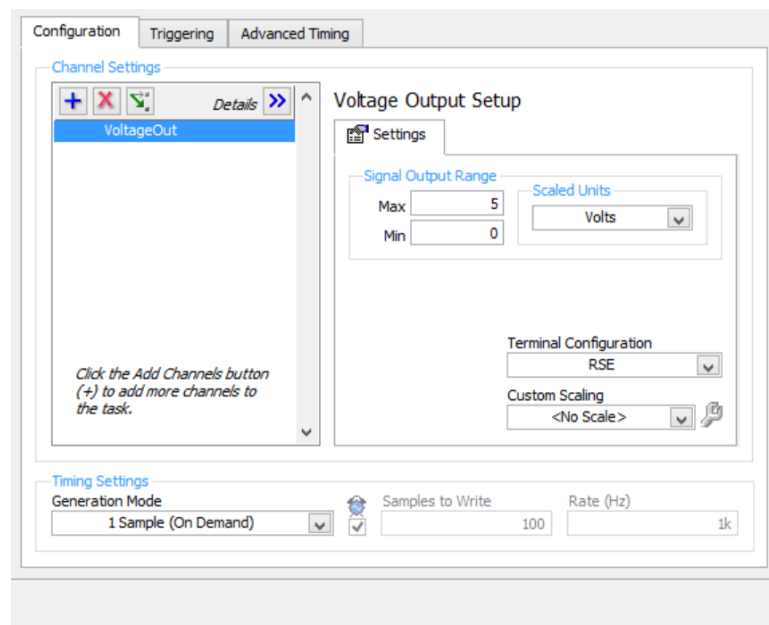


Figura 3. 29: Panel de configuración del voltaje de salida.

Elaborado por: Autor.

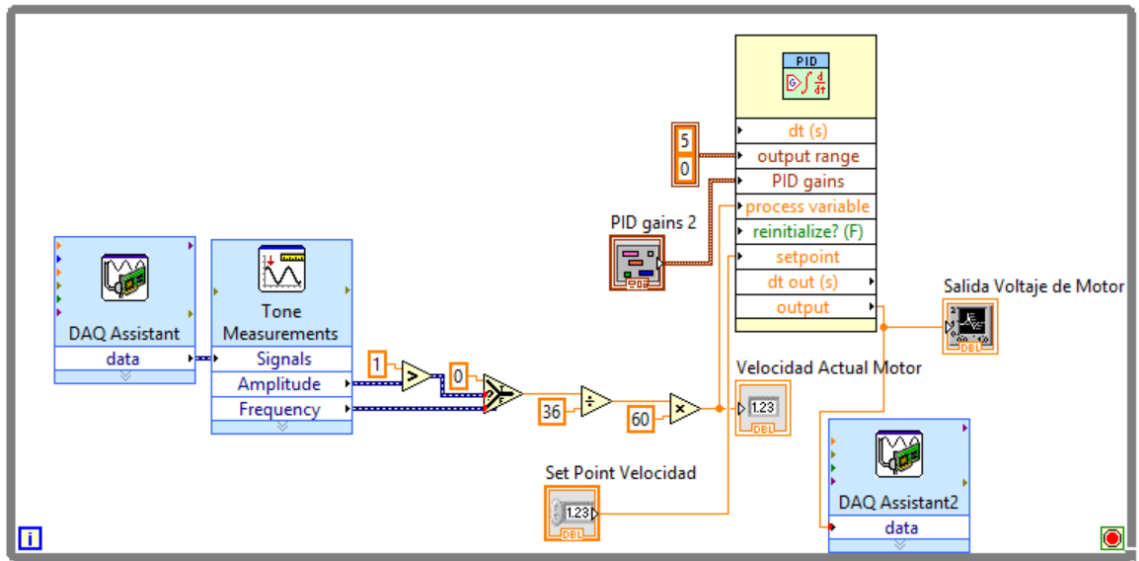


Figura 3. 1: Panel Frontal Labview.
Elaborado por: Autor.

CAPÍTULO 4: Conclusiones y Recomendaciones.

4.1. Conclusiones

Con respecto a la teoría propuesta sobre motores eléctricos, podemos decir que, actualmente son una herramienta muy importante debido a que nos ayuda mucho dentro del cambio de energía eléctrica, en energía mecánica; como la energía eléctrica es una fuente de poder muy empleada por parte del ser humano, es entendible que generar movimiento de tipo rotacional mediante la corriente eléctrica, dentro de un trabajo de ingeniería técnica es muy útil y favorable.

El diseño de la interfaz gráfica mediante instrumentos virtuales de LabView cumple las expectativas técnicas de simulación en relación al control proporcional, integral y derivativo (PID), cuya finalidad es entregar una respuesta siempre acorde o ideal a lo que se necesita, es decir, que tendrá una respuesta siempre constante a un mismo objetivo, sin importar todos los posibles estados de entrada que puede tener el sistema; todas las respuestas que entrega el controlador sirven para poder lograr una respuesta mucho mejor, por eso, estos controles son muy útiles dentro de los aspectos industriales debido a que simula mucho la acción de un ser humano en forma inteligente.

Mientras que la interfaz gráfica de MatLab cumplió el propósito de obtener las variables de control del PID que fueron procesadas con éxito en la plataforma de LabView.

4.2. Recomendaciones

Utilizar las plataformas de instrumentos virtuales LabView y de simulación MatLab/Simulink para desarrollar nuevos trabajos de investigación o de titulación.

Realizar el desarrollo de modelos matemáticos para el control PID de motores paso a paso, o de tipo jaula de ardilla para aplicaciones industriales y eléctricas.

Realizar el diseño de un sistema SCADA online para supervisar, controlar y adquirir datos de motores de corriente alterna.

Bibliografía

- Charre-Ibarra, S., Alcalá Rodríguez, J., López Luiz, N., & Durán Fonseca, M. (2014). Sistema Didáctico de Control de Presión. *Formación Universitaria*, 7(5), 33–40.
- Gil G., L., & Rincón G., J. (2014). *Control PID para el control de velocidad de un motor DC*. Universidad Tecnológica de Pereira. Recuperado a partir de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/handle/11059/4440>
- Gualdrón G., O., & Beleño S., K. (2015). Redalyc.Desarrollo de un controlador PID por sintonización difusa aplicado a un sistema rotacional (péndulo invertido) - 413943605009.pdf. *Revista Facultad de Ingeniería*, 24(40), 95–105.
- Ikpe, A., Owunna, I., & Satope, P. (2016). Comparative Analysis of a PID Controller using Ziegler-Nichols and Auto Turning Method. *International Academic Journal of Science and Engineering*, 3(10), 1–16.
- Lagunas-Jiménez, J. R., Moo-Yam, V., & Ortiz-Moctezuma, B. (2014). Sintonización de controladores PID robustos de dos grados de libertad mediante un algoritmo genético multiobjetivo. *Computación y Sistemas*, 18(2), 259–273. <https://doi.org/10.13053/CyS-18-2-2014-031>
- Lozano V., L., Rodríguez G., L., & Giraldo B., D. (2012). Diseño, Implementación y Validación de un Controlador PID Autosintonizado. *Revista Tecno Lógicas*, 28, 33–53.

- National Instruments. (2017). Entrenador de Planta de Control - EPC. Recuperado el 21 de enero de 2017, a partir de http://www.datalights.com.ec/site2/index.php?option=com_content&view=category&id=37&Itemid=57
- Quezada-Quezada, J. C., Flores-García, E., Bautista-López, J., & Quezada-Aguilar, V. (2014). Diseño e implementación de un sistema de control y monitoreo basado en HMI-PLC para un pozo de agua potable. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 15(1), 41–50.
- Ruge R., I. (2011). Optimización de señal de control en reguladores PID con arquitectura antireset Wind-Up. *Tecnura*, 15(30), 24–31.
- Singh, A., Narayan, U., & Verna, A. (2013). Speed Control of DC Motor using Pid Controller Based on Matlab. *Innovative Systems Design and Engineering*, 4(6), 22–28.
- Verdeza, A., Di Mare, L., Sanjuán, M., & Bula, A. (s/f). Diseño de Ecuaciones de Sintonía para Controladores PID (Proporcional-Integral-Derivativo) Implementados en Fotobiorreactores. *Información Tecnológica*, 27(4), 121–132.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL** con C.C: # 0923452049 autor del Trabajo de Titulación: **Diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control** previo a la obtención del título de **INGENIERO ELÉCTRICO MECÁNICO** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de Marzo de 2017

f. _____
Nombre: RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL
C.C: 0923452049



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Diseño e implementación de un control PID en un sistema SCADA a través de las plataformas MatLab/Simulink y de instrumentación virtual LabView para motores DC utilizando un entrenador de planta de control		
AUTOR(ES)	RIVERA VILLARREAL, CRISTHIAN JOEL		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. LUIS ORLANDO PHILCO ASQUI		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánica		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico Mecánico		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de Marzo de 2017	No. DE PÁGINAS:	57
ÁREAS TEMÁTICAS:	Automatización Industrial / Maquinas Eléctricas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Motores DC, Controladores, PID, MatLab/Simulink, LabView, SCADA.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>El presente trabajo de titulación describe el funcionamiento de los diferentes tipos de motores eléctricos, en especial los motores DC. Por otra parte, se realiza el análisis del método de control PID (proporcional, integrativo y derivativo) para las variaciones de la velocidad de un motor DC. El control PID en si es un sistema de control de realimentación que se implementa a través de plataformas de simulación como MatLab/Simulink e instrumentos virtuales como LabView. Para lo cual, los fundamentos teóricos permitieron entender el funcionamiento de un motor DC y del control PID. En la parte de aportaciones, en el Capítulo 3, se desarrolla una interfaz de usuario a través de LabView donde se implementó el controlador PID y a su vez se utilizó el dispositivo de adquisición de datos de National Instruments, es decir, como un sistema SCADA (supervisión, control y adquisición de datos). Los resultados obtenidos fueron satisfactorios cumpliendo así el propósito del trabajo de titulación.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0987828370	E-mail: joel_rivera90@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Philco Asqui Luis Orlando		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593-9-80960875		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		

SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA

No. DE REGISTRO (en base a datos):	
No. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):	