

En el presente libro se aborda el diseño y construcción de una planta electrónica, la misma cuenta con la maquinaria e instrumentación adecuada para realizar sistemas de control (velocidad, temperatura, iluminación y análisis de sonido) y poder observar, en tiempo real, el comportamiento y características intrínsecas de cada sistema. El núcleo de la obra lo constituye la interface NI MyDAQ y el software LabVIEW. Ella favorece el aprendizaje de conceptos de teoría de control e instrumentación y ahorra tiempo de montaje, cableado y conexión. Además, permite al estudiante obtener una experiencia de primera mano con las características y problemas de los sistemas físicos reales, tales como: ruido, precisión y acoplamiento AC/DC. No los limita al uso de simulaciones por computadora.



William Andrés Rodríguez López: Magíster en Telecomunicaciones, Especialidad en Automatización. Ingeniero Electrónico. Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Autor de libros y publicaciones científicas. Tutor de varias tesis de grado. Gerente de proyectos tecnológicos y de Infraestructura en Automatización, Domótica y TICs en DOMOBAK SA. Cursa la maestría en Internet de las Cosas.



Segundo Manuel Medina Correa: Ingeniero Comercial, Magíster en Sistemas de Información Gerencial, Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Tutor de varias tesis de grado y de proyectos relacionados a la Gestión Social del Conocimiento en la Universidad de Guayaquil, es autor de publicaciones científicas de alto impacto.



Fabián Andrés Espinoza Bazán: Ingeniero en Producción y Dirección en Artes Multimedia, Máster of Science in Computer and Information Security. Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, Ecuador, autor de libros y publicaciones científicas. Tutor de varias tesis de grado y proyectos tecnológicos.



Juan Carlos Yturalde Villagómez: Magíster en Administración de Empresas con Mención en Telecomunicaciones. Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones. Docente de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil, Ecuador. Ha tutorado tesis de grado y realizado diversas publicaciones de artículos científicos y libros.



Mauricio Javier Sevilla Ávila: Ingeniero en Comercio Internacional, Magíster en Administración de Empresas, Docente de la Educación Superior con experiencia. Se ha desarrollado como tutor de proyectos relacionados a la Gestión Social del Conocimiento en la Universidad de Guayaquil, es autor de varias publicaciones científicas de alto impacto y libros. Posee amplio dominio del área empresarial donde se destaca su participación como asesor y capacitador.



EDACUN

EDITORIAL ACADÉMICA UNIVERSITARIA



CREACIÓN DE PLANTA ELECTRÓNICA PARA ENTRENAMIENTO DE SISTEMAS DE CONTROL. NECESIDAD DE LA UNIDAD INDISOLUBLE DE LA INTERFACE NI MYDAQ Y EL SOFTWARE LABVIEW 2010

## CREACIÓN DE PLANTA ELECTRÓNICA PARA ENTRENAMIENTO DE SISTEMAS DE CONTROL. NECESIDAD DE LA UNIDAD INDISOLUBLE DE LA INTERFACE NI MYDAQ Y EL SOFTWARE LABVIEW 2010



William Andrés Rodríguez López  
Segundo Manuel Medina Correa  
Fabián Andrés Espinoza Bazán  
Juan Carlos Yturalde Villagómez  
Mauricio Javier Sevilla Ávila

EDITORIAL ACADÉMICA  
UNIVERSITARIA



**EDITORIAL ACADÉMICA UNIVERSITARIA**

**CREACIÓN DE PLANTA ELECTRÓNICA PARA ENTRENAMIENTO DE SISTEMAS DE CONTROL. NECESIDAD DE LA UNIDAD INDISOLUBLE DE LA INTERFACE NI MYDAQ Y EL SOFTWARE LABVIEW 2010**

**William Andrés Rodríguez López  
Segundo Manuel Medina Correa  
Fabián Andrés Espinoza Bazán  
Juan Carlos Yturralde Villagómez  
Mauricio Javier Sevilla Ávila**



**Diseño y Edición: MSc. Osmany Nieves Torres. As.**  
**Corrección: MSc. Ana de la Luz Tirado Benítez. P.A.**  
**Dirección General: Dr. C. Ernan Santiesteban Naranjo. P.T.**

© **William Andrés Rodríguez López**  
**Segundo Manuel Medina Correa**  
**Fabián Andrés Espinoza Bazán**  
**Juan Carlos Yturalde Villagómez**  
**Mauricio Javier Sevilla Ávila**

© **Sobre la presente edición**  
**Editorial Académica Universitaria (Edacun)**  
**978-959-7225-82-9**

**Editorial Académica Universitaria (Edacun)**  
**Universidad de Las Tunas**  
**Ave. Carlos J. Finlay s/n**  
**Código postal: 75100**  
**Las Tunas, 2020**



# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: ACERCA DE LA PROBLEMÁTICA ESTUDIADA.....</b>	<b>1</b>
1. EL PROBLEMA CONCEPTUAL METODOLÓGICO. DELIMITACIÓN .....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2. DELIMITACIÓN DE LA PROBLEMÁTICA ESTUDIADA .....	1
1.3. ARGUMENTACIÓN EPISTEMOLÓGICA DE LA PROBLEMÁTICA OBJETO DE ESTUDIO .....	1
1.4. DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA .....	2
1.4.1. BENEFICIARIOS .....	3
1.4.2. IMPACTO.....	3
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....</b>	<b>4</b>
2. BASES TEORICO-METODOLÓGICAS PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PLANTA ELÉCTRICA .....	4
2.1. ANTECEDENTES .....	4
2.2. INTRODUCCIÓN AL CONTROL AUTOMÁTICO .....	4
2.2.1. HISTORIA DE LA INSTRUMENTACIÓN .....	4
2.3. SISTEMAS DE CONTROL.....	6
2.3.1. TIPOS DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	7
2.3.1.1. CONTROL ON/OFF .....	7
2.3.1.2. CONTROL ON/OFF CON HISTÉRESIS .....	9
2.3.1.3. CONTROL PID.....	12
2.3.1.3.1. PARÁMETROS DE CONTROL PID.....	15
2.3.1.3.1.1. GANANCIA PROPORCIONAL .....	15
2.3.1.3.1.2. CONSTANTE DE TIEMPO INTEGRAL.....	15
2.3.1.3.1.3. CONSTANTE DE TIEMPO DERIVATIVO .....	16
2.3.1.3.2. ACCIONES DE CONTROL.....	16
2.3.1.3.2.1. ACCIÓN PROPORCIONAL .....	16
2.3.1.3.2.2. ACCIÓN INTEGRAL .....	18
2.3.1.3.2.3. ACCIÓN DERIVATIVA .....	19
2.3.1.4. ALGORITMO PID .....	20
2.3.1.5. SIMULACIÓN EN MATLAB .....	21
2.3.1.6. SIMULACIÓN EN LABVIEW .....	23
2.4. VARIADORES DE FRECUENCIA .....	27
2.4.1. DEFINICIÓN.....	27
2.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	28
2.4.3. ESQUEMA ELÉCTRICO DEL VARIADOR DE FRECUENCIA .....	28
2.4.4. SINAMICS G110 .....	29
2.4.5. BOP (BASIC OPERATOR PANEL) .....	30
2.5. MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO.....	32
2.5.1 DEFINICIÓN.....	32

2.5.2. CARACTERÍSTICAS DE UN MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO .....	32
2.5.3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR ASÍNCRONO TRIFÁSICO .....	35
2.5.4. CONEXIONES .....	36
2.6. RESISTENCIAS CALORÍFICAS .....	38
2.6.1 DEFINICIÓN .....	38
2.6.2. RESISTENCIAS BLINDADAS .....	39
2.7. MYDAQ.....	41
2.7.1. CONCEPTOS Y GENERALIDADES.....	41
2.7.2. DETALLES TÉCNICOS.....	42
2.7.2.1. DIMENSIONES .....	42
2.7.2.2. HARDWARE INTERNO .....	42
2.7.3. ESPECIFICACIONES .....	43
2.7.3.1. ENTRADAS ANALÓGICAS .....	43
2.7.3.2. SALIDAS ANALÓGICAS.....	44
2.7.3.3. ENTRADAS/SALIDAS DIGITALES (DIO).....	44
2.7.3.4. CONTADORES/TEMPORIZADORES .....	44
2.7.3.5. FUENTES DE PODER .....	45
2.7.3.6. CONSUMO DE POTENCIA .....	46
2.8. SENSORES UTILIZADOS EN EL PROYECTO .....	47
2.8.1. RTD .....	47
2.8.1.1. PT-100 .....	48
2.8.1.2. CONEXIÓN DE LA PT-100.....	50
2.8.1.2.1. DOS HILOS.....	50
2.8.1.2.2. TRES HILOS .....	51
2.8.1.2.3. CUATRO HILOS .....	52
2.8.1.3. AUTOCALENTAMIENTO Y CORRIENTE DE EXCITACIÓN .....	52
2.8.2. ENCODER INCREMENTAL.....	52
2.8.2.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	53
2.8.2.2. TIPOS DE SALIDAS.....	54
2.8.2.2.1. TOTEM POLE .....	54
2.8.2.2.2. NPN COLECTOR ABIERTO .....	55
2.8.2.2.3. SALIDA LINE DRIVER .....	56
2.8.2.2.4. SALIDA DE VOLTAJE FIJO .....	57
2.8.2.3. FORMAS DE ONDA .....	59
2.8.2.4. APLICACIONES BÁSICAS DE LOS ENCODERS.....	61
2.8.3. FOTORRESISTENCIAS.....	63
2.8.4. MICRÓFONO .....	66
<b>CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA ELECTRÓNICA .....</b>	<b>67</b>
3. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA ELECTRÓNICA.....	67
3.1. ANTECEDENTES .....	67

3.2. SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD.....	67
3.3. SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.....	72
3.4. SISTEMA DE CONTROL DE FASE.....	78
3.4.1. DETECTOR DE CRUCE POR CERO .....	79
3.4.2. DISPARADOR DE TRIAC .....	81
3.4.3. TARJETA DE CONTROL.....	82
3.5. ANÁLISIS DE SONIDO .....	87
3.6. CONTACTOS DE PROPÓSITO GENERAL.....	87
3.7. DISEÑO MECÁNICO DEL BANCO DE TRABAJO .....	88
<b>CAPÍTULO 4: PRÁCTICAS TUTORIALES.....</b>	<b>91</b>
PRÁCTICA #1.....	91
PRÁCTICA #2.....	98
PRÁCTICA #3.....	102
PRÁCTICA #4.....	106
PRÁCTICA #5.....	109
PRÁCTICA #6.....	111
PRÁCTICA #7.....	117
PRÁCTICA #8.....	123
PRÁCTICA #9.....	127
PRÁCTICA #10.....	130
PRÁCTICA #11.....	135

## **Nota al lector**

La siguiente obra trata sobre el diseño y construcción de una Planta Electrónica para Entrenamiento de Sistemas de Control Automático e Instrumentación. Dicho proyecto planea convertirse en un referente en el aprendizaje cotidiano de técnicas de instrumentación virtual, en la cual se utiliza el software más potente del ámbito industrial académico, LABVIEW.

En el **Capítulo 1** se detallan los hechos preliminares, tales como, el planteamiento del problema, metodología, técnicas, impacto del proyecto para los estudiantes beneficiados, entre otros puntos que fueron de trascendental importancia en el transcurso de la investigación.

En el **Capítulo 2** se realiza un marco teórico sobre los tópicos más importantes del proyecto y se brinda al lector una perspectiva diferente de los instrumentos industriales aplicados a la academia.

En el **Capítulo 3** se encuentran todos los parámetros y pasos necesarios para poner en marcha físicamente el proyecto.

El **Capítulo 4** está destinado a la realización de Prácticas Tutoriales en las cuales los usuarios del banco de trabajo puedan explotar todas sus características.

# **CAPÍTULO 1: ACERCA DE LA PROBLEMÁTICA ESTUDIADA**

## **1. El problema conceptual metodológico. Delimitación**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

La Universidad Politécnica Salesiana (UPS), se encuentra ubicada en Chambers y Calle 5 de Junio, y actualmente, tiene aproximadamente 15 años de constitución. La carrera de Ingeniería Electrónica, es una de las más antiguas en el área de Ingenierías, y entre sus perfiles profesionales se destaca la Automatización y el Control Industrial, siendo esta, un área en la que se requiere contrastar los conocimientos teóricos, adquiridos por el estudiante, con la práctica en sus laboratorios.

En el área de control industrial, los estudiantes han realizado pocas prácticas para fortalecer su conocimiento teórico, debido a que no se disponen de suficientes entrenadoras de Plantas de Control, que sean de fácil acceso e instalación para la realización de dichas prácticas didácticas. Una muy reducida parte del alumnado, ha podido incursionar a diseñar y modelar sistemas de control automático. Con un módulo didáctico específico se pretende aportar a materias como Teoría de Control, Robótica, Automatización Industrial, Instrumentación, para que sean estudiadas con una profundización práctica más fortalecida.

En vista de esta necesidad, se ha decidido plantear la propuesta de desarrollar una planta electrónica para entrenamiento de sistemas de control automático, utilizando las ventajas y facilidades que nos brinda la plataforma de desarrollo gráfico LABVIEW 2010 de National Instruments, dicho software está incursionando potentemente en el ámbito industrial, siendo pioneros en adquisición de datos y pruebas de medición en la actualidad.

### **1.2. Delimitación de la problemática estudiada**

Con la presente investigación se pretende abarcar prácticas didácticas en el área de Automatismo y Control Industrial referentes al Control de variables físicas, tales como, velocidad, temperatura, iluminación y sonido.

Dichas variables son comunes en una industria y es la razón por la cual hay que prestarle especial atención al diseño y modelamiento de sistemas de control en los cuales se los vea involucrados.

El módulo será armado para ser utilizado por los estudiantes de sexto semestre de la UPS, que se encuentre cursando materias como, Teoría de Control, Instrumentación, Sensores y Transductores, Automatismo Industrial y seminarios profesionales, en los cuales se impartan tópicos relacionados a Labview.

### **1.3. Argumentación epistemológica de la problemática objeto de estudio**

En la Universidad Politécnica Salesiana, en la carrera de Ingeniería Electrónica, en el área de Control Automático, existen pocas herramientas para relacionar la práctica profesional con la teoría aprendida en el aula de clases, es por esta razón que se diseñará un módulo didáctico para realizar prácticas afines a los sistemas de control industrial, con lo cual se pretende fortalecer el aprendizaje de dichos tópicos.

Dado que nuestra prestigiosa institución ha realizado una excelente inversión en la compra de la licencia del Software LabVIEW de National Instruments, es importante empezar a desarrollar aplicaciones que nos involucren más en el ámbito industrial utilizando la mayor parte de herramientas poderosas de dicho software, integrando nuestros conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera.

Se eligió este proyecto porque se ha palpado en vivo la necesidad de los estudiantes de contar con herramientas más avanzadas para realizar prácticas reales.

En la materia de *Teoría de Control*, es de suma importancia demostrar como funciona un tipo de control automático, tales como el control PID, así podremos tener una idea más clara de las acciones que el sistema de control tendrá al manipular una u otra variable.

En la materia de *Instrumentación*, se puede aprender varios conceptos importantes, entre esos está presente el acondicionamiento de señales, pero quizás estamos carentes de alguna herramienta con la cual se pueda tomar mediciones reales y precisas, tales como el PT100, que es el sensor de temperatura que más conocemos, con el cual trabajamos más ejercicios en la materia, pero que muy pocos conocen y han trabajado con dicho instrumento, teniendo en cuenta estos detalles, se le muestra al alumno los diversos tipos de señales y mediciones que se toman en la práctica y su acondicionamiento adecuado para que puedan ser llevadas a un sistema de control.

En la materia de *Automatización Industrial*, se les presenta una salida alternativa a las formas de automatización convencionales con las que hemos venido trabajando. Las tarjetas de adquisición de datos (DAQ), también nos brindan una forma de automatismo más sencilla y a menor costo, por lo cual, es importante conocer su funcionamiento y sus ventajas.

En la materia de *Sensores y Transductores*, se puede tomar como referencia la gran gama de sensores implementados en el proyecto. El RTD, el encoder, la fotocelda, son algunos de los elementos que tendremos a disposición en el proyecto. Además se podrá analizar un transductor importante como es el micrófono para el análisis de sonido.

Además podemos implementar nuestros propios sistemas SCADA, a nuestro gusto y medida y realizar el control, rápido y sencillo, de potentes aplicaciones de la vida cotidiana, e incluso comenzar a desarrollar sistemas de supervisión y control de procesos a grandes empresas de nuestro País, automatizando la línea de adquisición de datos de su producción, y todo esto a un precio más económico que cualquier otro Sistema SCADA, ya que Labview no posee limitantes en cantidad de variables, impulsando así, el desarrollo permanente de la Industria Ecuatoriana y de la tecnología presente en ella, convirtiéndonos en una sociedad más productiva.

#### **1.4. Descripción de la propuesta**

El siguiente proyecto trata sobre el diseño y construcción de una Planta Electrónica, la misma que tendrá la maquinaria e instrumentación adecuada para realizar sistemas de control y poder observar, en tiempo real, el comportamiento y características intrínsecas de cada sistema.

El punto central de este proyecto es la Interface NI MyDAQ y el software LabVIEW.

Con esta planta electrónica resulta muy fácil el aprendizaje de conceptos de teoría de control e instrumentación.

Los beneficiarios directos, los alumnos de la UPS, se ahorrarán tiempo de montaje, cableado y conexionado, dejando más oportunidad para desarrollar otros sistemas y diseñar la ingeniería adecuada para hacerlos funcionar, ganando más conocimientos, profundizando en temas correspondiente a varias materias.

Además se obtiene una experiencia de primera mano con las características y problemas de los sistemas físicos reales tales como ruido, precisión, acoplamiento AC/DC, etc. y no limitándonos a usar solo simulaciones por computadora.

La planta electrónica en mención contiene la maquinaria instalada específica para poder realizar diferentes tipos de controles, tales como:

- Control de Velocidad

- Control de Temperatura
- Control de Iluminación
- Análisis de Sonido

#### **1.4.1. Beneficiarios**

Estudiantes de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil.

#### **1.4.2. Impacto**

El banco de trabajo construido, mejorará el desempeño del estudiante ante situaciones laborales complicadas, relacionadas al control automático. Con este proyecto, se pretende incursionar al estudiante en actividades específicas de esta índole, permitiéndole así, obtener un panorama más amplio a los conceptos desarrollados en el aula de clases y fortalecer los mismos.

Como retroalimentación de este proyecto, se puede determinar una pequeña evaluación futura, en la cual, se determine el incursionismo laboral de los estudiantes, con relación a estos temas específicos.

## **CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO REFERENCIAL**

### **2. Bases teórico-metodológicas para la elaboración de una planta eléctrica**

#### **2.1. Antecedentes**

Existen varias investigaciones y herramientas que ayudan y mejoran el proceso de enseñanza-aprendizaje de los estudiantes en temas de control automático. La diferencia radica en los tipos de herramientas utilizadas en investigaciones anteriores, las mismas que carecen de un software corporativo que impulse el desarrollo mental en materias relacionadas al ámbito industrial. Se considera necesario conocer bien el tema de los componentes que conforman el banco.

#### **2.2. Introducción al control automático**

Anteriormente, cuando se quería tener algún control sobre una variable de proceso industrial que tenga repentinas variaciones, se procedía manualmente a encender o apagar actuadores para que el proceso sea estabilizado.

Era casi imposible tener un control exacto y específico sobre las magnitudes a controlar, sin tener en cuenta que las variaciones podrían ser repetitivas, esto también nos llevaba a la necesidad de contar con un operador que esté permanente vigilando el proceso y active o desactive los actuadores finales, abra las válvulas y realice todos los procedimientos necesarios para dejar un poco estable el proceso.

Para eliminar esos procesos metodológicos y rústicos, y para agilizar el proceso de estabilización, en caso de presentarse errores, aparece el control automático.

El control automático se refiere a cualquier acción que realiza un sistema, por sí solo, en respuesta a una perturbación que pueda alterar su normal funcionamiento.

Existen diferentes formas de control automático utilizados ampliamente en la industria, pero en este trabajo se analizarán varios de los métodos más comunes desde los más sencillos como el control On/Off, pasando por el control por histéresis hasta analizar sistemas de control robustos, tales como el control PID y sus variantes, que en la práctica pueden ser sistemas muy complejos de implementar, pero en Labview hay ciertas ventajas y facilidades, que es lo que precisamente se tratará en este apartado.

La instrumentación es la rama de la ingeniería que se dedica a capturar las variables de proceso, tales como, nivel, temperatura, presión, humedad, entre otras, y analizar su comportamiento mediante instrumentos que miden sus magnitudes para posteriores modificaciones, que nos permitirán tener un control robusto y exacto del proceso y poder realizar visualizaciones e inspecciones del mismo.

***“Antes de poder controlar un proceso es necesario comprenderlo”***<sup>1</sup> (Liptak)

Hoy en día, el desarrollo de los procesos industriales nos exige conocer varias herramientas, métodos, procedimientos de instrumentación para mantener unas constantes en las mediciones dentro de márgenes establecidos y permitidos.

##### **2.2.1. Historia de la Instrumentación**

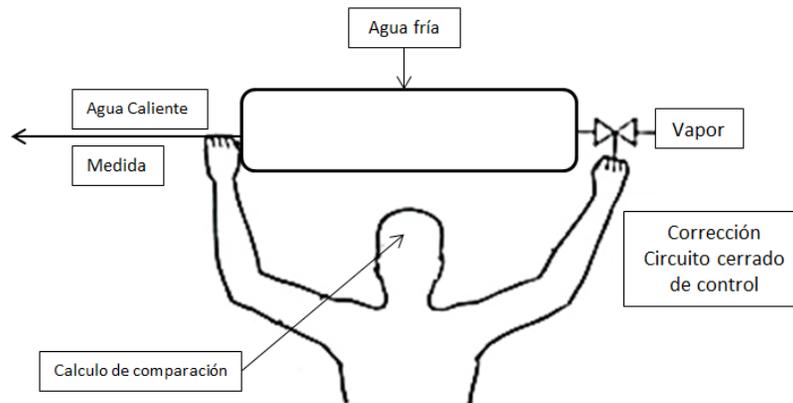
Las primeras mediciones eran manuales y localizadas en el área de proceso<sup>2</sup> (Maraña). Esto quiere decir que teníamos que tener un operador fijo, lo que llevaba a otra preocupación de mayor magnitud: la seguridad laboral.

---

<sup>1</sup> LIPTAK, Bela, “Instrument Engineers Handbook”.

<sup>2</sup> MARAÑA, Juan Carlos, “Instrumentación y Control de Procesos”.

Además de la inestabilidad, los procesos eran muy simples y existía mucha resistencia al cambio, por lo que se hacía muy difícil evolucionar y cambiar a técnicas más modernas que involucren un desarrollo progresivo.



**Figura 2.1:** Control de procesos mediante operadores.

**Fuente:** “Instrumentación y Control de Procesos” - Juan Carlos Maraña

Después se pensó en centralizar los instrumentos en paneles, que estaban localizados fuera del área de trabajo, teniendo la ventaja de que el instrumentista ya no tenía que estar localizado ahí permanentemente, sino que llevaba las mediciones hasta el panel y desde ahí se ejecutaban las acciones de supervisión y control necesarias, pero aparecía la problemática de que el operador tenía que tener sumo cuidado en el instante que llevara los registros de las variables de proceso hacia el panel.

Para evitar que el operador entre en contacto directo con las medidas capturadas, se realizó un avance significativo en la instrumentación, y se pensó tener las variables de medición, transportarlas hacia el panel general y convertirlas en una señal estándar que pueda ser interpretada por los operadores. Este procedimiento caracterizó el nacimiento de los transductores modernos.

La idea básica era convertir cualquier variable de proceso, ya sean, temperatura, flujo, nivel, humedad, presión, entre otras, en una señal neumática preestablecida en el rango de 3psi hasta los 15 psi.

Así teníamos, por ejemplo, una señal de temperatura de 0°C - 100°C se convertía en una señal neumática de presión que variaría entre los 3psi – 15psi.

Así se eliminaba el problema del transporte de las mediciones hacia el panel local y se tenía una respuesta más rápida y precisa de lo que estaba sucediendo en el proceso.

Pero también existían desventajas grandes, además de las limitaciones de distancia entre el proceso y el panel, aparecía otros problemas, tales como, el consumo elevado de aire comprimido, que conllevaba a las pérdidas energéticas y a realizar una inversión mayor.

Poco después, los ingenieros de control pensaron en realizar el mismo procedimiento para la captura de señales, pero variando la forma de interpretarlas y dándole un método más rápido de lectura y adecuado a nuestro idioma técnico, cambiando las variables neumáticas por señales eléctricas, que pueden ser señales de corriente o de voltaje.

Por ejemplo, teniendo en cuenta el mismo ejemplo anterior, para una señal de temperatura de 0°C - 100°C, el transmisor electrónico convertía adecuadamente las señales para que la salida sea de 4 a 20 miliamperios en términos de corriente, y de 0 a 10 voltios en términos de voltaje.

## Clasificaciones de los instrumentos

### *Instrumentos por función*

Se refieren a los instrumentos que tienen una función determinada en el sistema, ya sea, captar la variable de proceso o transmitirla, convertirla y hasta mostrarla en indicadores.

Entre estos encontramos a los sensores o elementos primarios, transmisores, indicadores, convertidores, actuadores finales, entre otros.

### *Instrumentos por variable de proceso*

Esta clasificación indica a los instrumentos según la variable de proceso a medir, es decir, dependen de la variable física de la cual se quieran conseguir datos.

Estas magnitudes físicas pueden ser de presión, flujo, temperatura, velocidad, nivel, entre otras, que son las más comúnmente medidas en el diario convivir del instrumentista.

En este trabajo, se ha considerado necesario realizar mediciones de variables como velocidad, temperatura, iluminación y sonido.

## 2.3. Sistemas de control

Un sistema de control se refiere al conjunto de acciones necesarias para que el proceso se ejecute con total robustez, inteligencia y autonomía.

En detalle, un sistema de control, es el que recibe las variables de proceso que son procedentes de los instrumentos, transmisores, convertidores, entre otros elementos que capturaron la magnitud física, este las convierte y las procesa en su inteligencia y con total autonomía ejecuta las acciones adecuadas sobre los elementos finales de control.



**Figura 2.2:** Esquema de un sistema de control

**Fuente:** El autor.

Un sistema de control tiene las siguientes funciones: <sup>3</sup>

- Control analógico.
- Control todo-nada.
- Gestión de alarmas.
- Generación de informes.
- Registro de señales.
- Funciones de cálculo.
- Secuencias de arranque.
- Gestión de las comunicaciones.

Mientras más funciones de estas desempeñen, los sistemas serán más robustos.

---

<sup>3</sup> MARAÑA, Juan Carlos, "Instrumentación y Control de Procesos".

### 2.3.1. Tipos de Control Automático

Existen diversos tipos de control automático, estos difieren de acuerdo a la aplicación para la cual sean seleccionados.

Existen procesos donde el control no debe ser exactamente preciso, así como también existen procesos industriales críticos para los cuales hay que tener sumo cuidado en la estabilización de las variables físicas.

Como ya habíamos mencionado que Control Automático se refiere a cualquier acción que realiza un sistema, con total autonomía, en respuesta a una perturbación que pueda estar alterando su funcionamiento normal.

Es decir, nuestro sistema de control analizará todas las variables reales medidas provenientes del proceso y las comparará con las variables asignadas o deseadas y a su vez, se realizarán las acciones necesarias, gestionando salidas y ejecutando órdenes para estabilizar la respuesta al nivel deseado.

El tipo de control a seleccionar depende de la rapidez con la que queramos estabilizar nuestro proceso, o de la robustez del mismo.

Antes de analizar los diferentes tipos de controles automáticos, es necesario saber tres conceptos básicos que son los parámetros principales de cualquier control automático

- Variable de Proceso  
Es la variable física medida en tiempo real y sobre la cual se va a actuar para estabilizarla.
- Setpoint  
Es el valor deseado para la variable del proceso, es decir, es el valor prefijado al cual se debe estabilizar la respuesta.
- Error  
Es la diferencia entre la variable de proceso y el setpoint. Generalmente se mide en unidades de porcentaje.

Por ejemplo, en un proceso de calentamiento de agua se requiere ingresar vapor a 50°C, pero la lectura del sensor de temperatura marca 47°C.

Tenemos que el setpoint es el valor deseado, entonces este valor serían los 50°C, la variable de proceso serían los 47°C y el error sería de 3° que representa un margen de error del 6%, debido a la fórmula:

$$\%Error = \frac{50^{\circ}\text{C} - 47^{\circ}\text{C}}{50^{\circ}\text{C}} * 10$$
$$\%Error = 6\%$$

Los tipos de control automático más conocidos son:

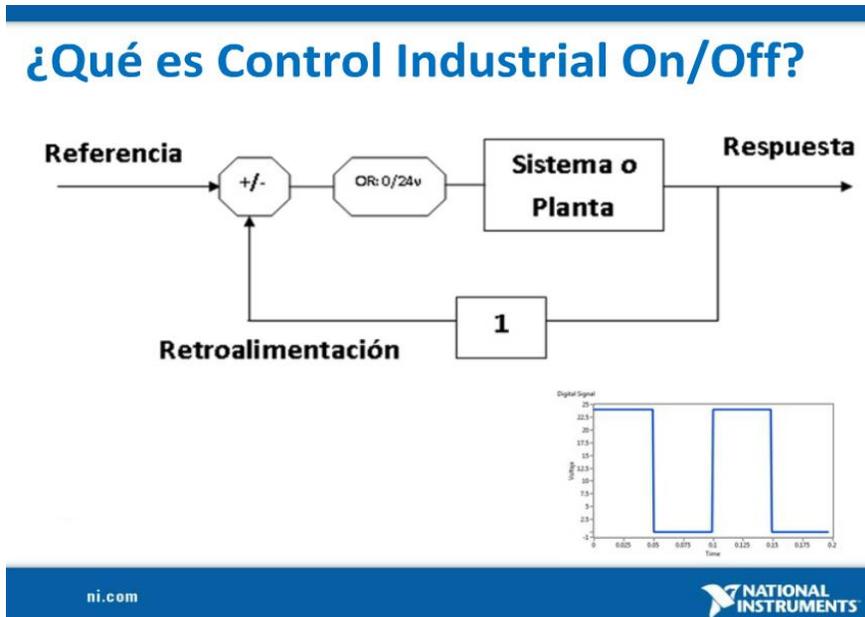
- Control On/Off
- Control On/Off con Histéresis
- Control PID y sus variantes

Analizaremos lo más relevante de cada uno de ellos.

#### 2.3.1.1. Control On/Off

Es un sistema de control en lazo cerrado muy básico mediante el cual se realizará automatización de equipos con solo dos estados: Encendido o Apagado.

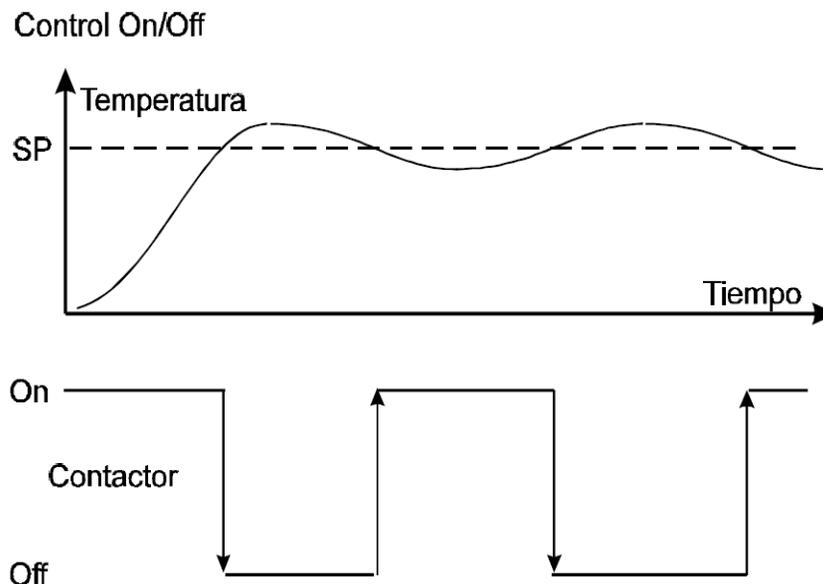
De la posibilidad de tener solo dos posibles estados es que proviene su nombre. Se presentan dos señales para el actuador que variará considerablemente la variable de proceso.



**Figura 2.3:** Control On/Off

**Fuente:** (National Instruments, 2011) <http://www.ni.com/white-paper/3782/en>

El setpoint es la señal de referencia, que entrará al sistema que después de haber comparado el valor real de la variable de proceso, decidirá si enciende o no enciende el actuador asociado a esa planta.



**Figura 2.4:** Control On/Off

**Fuente:** (Arian, Control & Instrumentación, 2011)

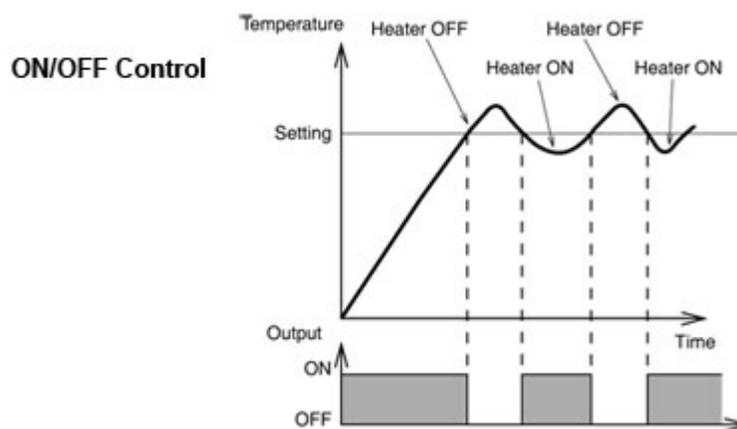
Con la ayuda de la Figura 1.5, se puede comprender totalmente lo que es el Control On/Off. Ayudándonos de un ejemplo básico como el de temperatura, podemos partir a comparar las ventajas y desventajas de este tipo de control.

A modo ejemplo, se tiene un sistema de control de temperatura que se lo desea estabilizar con un SETPOINT  $SP=60^{\circ}C$ . Además, se tiene un contactor que enciende o apaga una resistencia calefactora que actuará sobre el proceso.

Básicamente, el sistema de control On/Off, activa o enciende el contactor cuando la temperatura o VARIABLE DE PROCESO PV está por debajo del valor prefijado SP.

De la misma manera, apagará el contactor cuando el valor PV esté por arriba del valor SP.

En el siguiente gráfico se ve el funcionamiento real del controlador On/Off del proceso explicado anteriormente, del cual, se aprecia que la tendencia de color rojo es la Variable de Proceso PV, el gráfico verde es la señal de encendido y apagado del contactor, y la recta celeste es el valor Setpoint SP.



**Figura 2.5:** Control On/Off de un proceso real

Fuente: [www.coulton.com](http://www.coulton.com)

A simple vista se aprecia que se trata de estabilizar la variable de proceso para que sea similar al valor prefijado, pero vemos que esta salida presenta varias oscilaciones, esto es debido a la inercia térmica presente en el proceso.

Según nos indica el Manual de Controladores PID de Arian.cl, dice:

La inercia térmica es consecuencia del retardo en la propagación del calor en el interior de un proceso, desde la resistencia calefactora hasta el sensor de temperatura.

Las fluctuaciones aumentarán cuanto mayor sea la inercia térmica.

(Arian, Control & Instrumentación, 2011)

Debido a las oscilaciones y fluctuaciones que este tipo de control presenta, no es el más adecuado para procesos críticos en los cuales se desee mantener estable y constante una temperatura u otra propiedad física.

Pero es ampliamente usado en procesos sencillos, en los cuales no se requiere precisión y tiene la gran ventaja de provocar un menor desgaste en los contactos electromecánicos de las válvulas, relés, contactores y actuadores finales.

### 2.3.1.2. Control On/Off con Histéresis

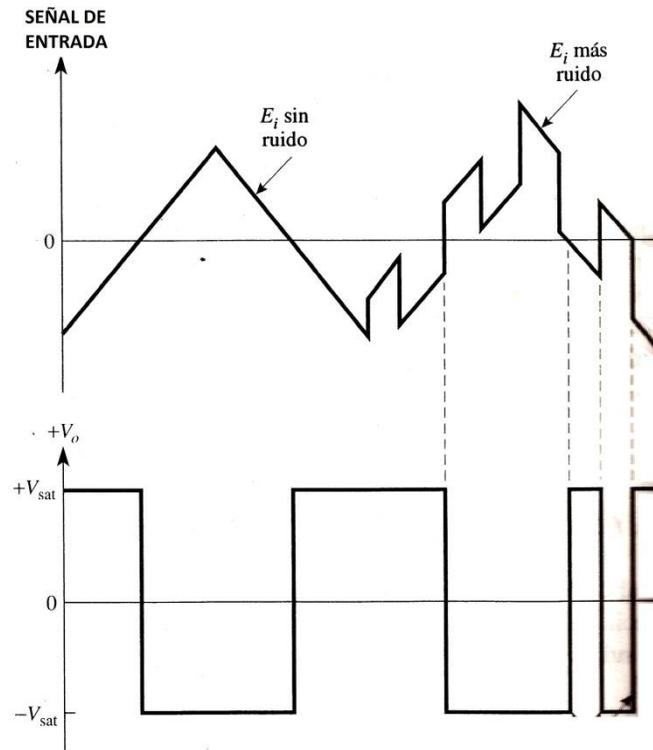
El control por histéresis, es un tipo de control automático un poco más confiable para procesos donde haya mucho ruido e interferencias.

Dicho control, es una variación al control On/Off convencional, pero provee una mejora adicional a este.

El control por histéresis, es muy común en circuitos comparadores como el conocido “Disparador de Schmitt” o “Schmitt Trigger”, y en estos casos se lo utiliza para proveer una salida adecuada ante ciertas condiciones de entrada al comparador.

Algunos circuitos comparadores lo usan para eliminar el ruido eléctrico, en la mayoría de los casos, presente en componentes con una gran sensibilidad a interferencias electromagnéticas.

En varias aplicaciones, el ruido es una fuente mayoritaria de problemas, sobre todo en ambientes donde se requiere gran precisión.



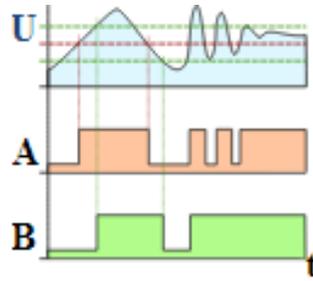
**Figura 2.6:** Falsos cambios en la salida en control On/Off

**Fuente:** (COUGHLIN-DRISCOLL)

De la figura anterior, se nota que cuando no hay ruido el sistema de control responde perfectamente, encendiendo o apagando el actuador, según sea el caso, pero para la segunda parte, se consta que cuando existe un ruido pronunciado en la señal de entrada se dan lecturas falsas en el controlador y este mismo proporcionará cambios falsos en el actuador final, lo que desencadenará en un mal funcionamiento del sistema de control.

La solución a esto es proveer una variante al sistema de control On/Off, que se llama histéresis, ya que este tipo de control proveerá de un rango superior e inferior determinado de acuerdo al setpoint y asignado por el usuario u operador, y el sistema actuará de acuerdo a las lecturas que el sensor brinde, dando un mayor grado de exactitud.

Básicamente es un control On/Off, ya que, tiene un setpoint dado por el usuario o el operador, pero en esta ocasión tendremos un parámetro adicional que llamaremos histéresis, y este será el rango permitido por arriba y por abajo del setpoint.



**Figura 2.7:** Solución a los falsos cambios en la salida en control On/Off

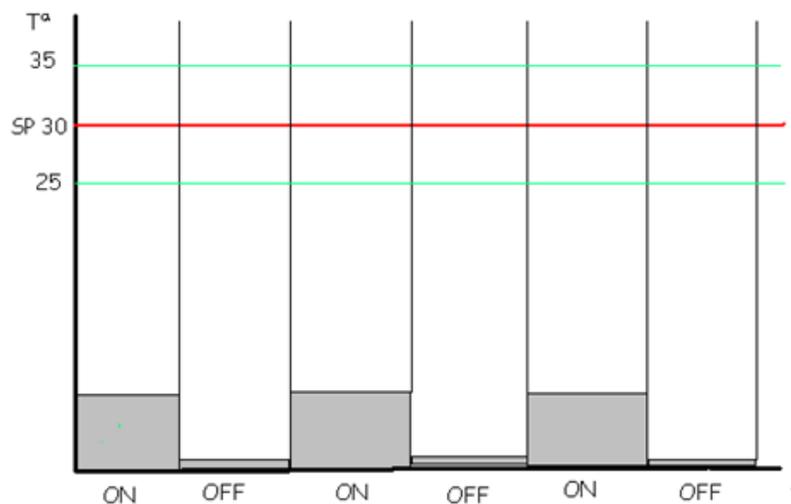
**Fuente:** (Wikipedia)

En la figura anterior se tiene que U es la onda de entrada del sensor, A es la forma de onda del actuador utilizando un control On/Off simple, y la onda B es cuando se utiliza un control On/Off con Histéresis.

A modo ejemplo, si establecemos un setpoint de 130 psi para un proceso de control de presión, y tendremos un rango de histéresis de +/- 5psi, entonces nuestro proceso podrá oscilar en el rango de 125 psi para 5psi menos que el setpoint, y 135 psi para 5psi más que el setpoint.

Por suponer otro ejemplo, si aplicamos un control On/Off con Histéresis a un proceso de temperatura de un caldero, donde el SP = 30°C y tiene un rango de histéresis de +/- 5°, tendremos una *Temperatura de Umbral Superior*  $T_{ut} = 35^{\circ}\text{C}$  y una *Temperatura de Umbral Inferior*  $T_{lt} = 25^{\circ}\text{C}$ , el actuador de una resistencia calorífica que lo calienta, se apagará cuando la temperatura sobrepase el umbral superior o 35°C.

En este instante la temperatura bajará gradualmente hasta que pasa por debajo de la temperatura de umbral inferior o 25°C, ahora el sistema mandará al actuador de la resistencia que se encienda para enviar calor a dicho proceso.



**Figura 2.8:** Ejemplo de un control On/Off con Histéresis

**Fuente:** (Infopl.net)

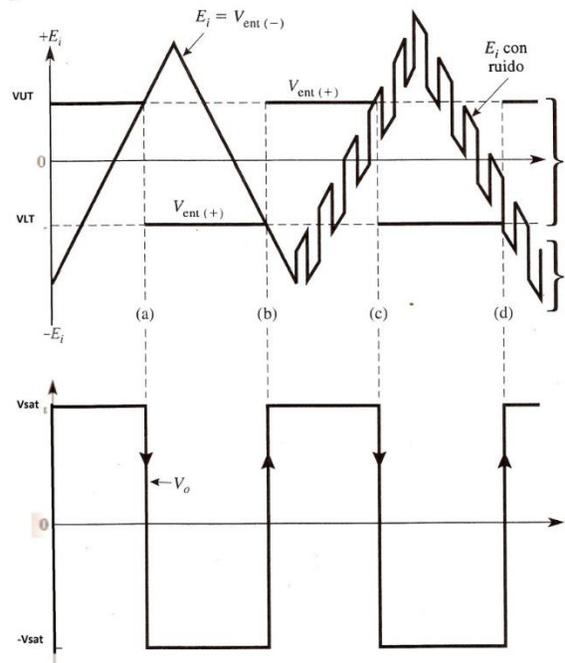
La ventaja de este tipo de control radica en que el actuador solo se apagará cuando la temperatura venga por debajo del umbral superior y en un momento dado lo sobrepase.

De la misma manera, el actuador solo encenderá cuando la temperatura del proceso venga por encima del umbral inferior y de repente baje de dicho límite.

Además se aprecia que se suprime notablemente el problema del ruido e interferencias que podían alterar la medición y el control.

Algo importante de mencionar en este tema es que al control por histéresis se lo reconoce como control con memoria, esto es porque si la señal de temperatura  $T_x$ , proveniente del sensor, cae entre  $T_{ut}$  y  $T_{lt}$ , el controlador recordará el último valor de cambio de  $T_x$ .

A continuación se presenta un gráfico de un sistema de control On/Off con Histéresis, en el cual se tiene una señal de entrada con mucho ruido y notamos que la activación de la salida depende estrictamente de los umbrales de nivel seteados.



**Figura 2.9:** Ejemplo de un control On/Off con Histéresis

**Fuente:** (COUGHLIN-DRISCOLL)

Para concluir con la definición de histéresis, según (COUGHLIN-DRISCOLL):

Siempre que un proceso cambia de un primer estado a otro segundo con cierta señal y entonces regresa del segundo estado al primero con otra señal de entrada diferente, se decide que el proceso exhibe HISTÉRESIS. (COUGHLIN-DRISCOLL)

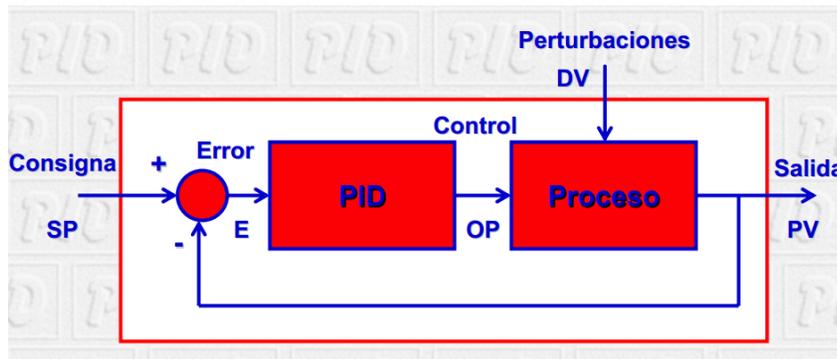
### 2.3.1.3. Control PID

Es un tipo de control con mayor robustez, y ampliamente usado en aplicaciones donde se requiere precisión, exactitud y sobre todo, respuestas rápidas ante perturbaciones externas.

La diferencia con el control On/Off, es que, el control PID puede tomar un rango de valores entre 0 y 100% de la variable a manipular ofreciéndonos una respuesta mucho más precisa y con mayor rapidez ante cambios y alteraciones inesperadas en el sistema.

Además, si se recuerda de los conceptos anteriores, teníamos que un controlador Todo/Nada, también llamado On/Off, presenta oscilaciones sostenidas durante el funcionamiento normal del proceso.

La idea del controlador PID es hacer que el error en estado estacionario u oscilaciones del sistema, se reduzcan a cero de manera asintótica en el tiempo, además de ofrecer una rápida respuesta ante cambios inoportunos en la señal de referencia.



**Figura 2.10:** Esquema básico de un sistema de control PID

**Fuente:** (MORILLA, 2007)

En el esquema anterior se presentó la idea básica de un controlador PID y se puede apreciar que se brinda una señal de referencia o consigna. Dicha señal entra al controlador PID y mediante el ajuste adecuado de sus parámetros vamos a generar otra señal modificada que será la que actúe sobre el proceso y así poder medir dicha señal y mediante la retroalimentación, comparar entre el valor real medido y el valor deseado.

Nótese también que el proceso está sujeto a perturbaciones externas, las mismas a las que se les aplicará la acción necesaria para minimizar, en lo absoluto, su efecto.

Si tomamos como ejemplo un sistema de control de velocidad de un motor DC, tenemos que la señal de referencia será el valor deseado de velocidad para dicho motor.

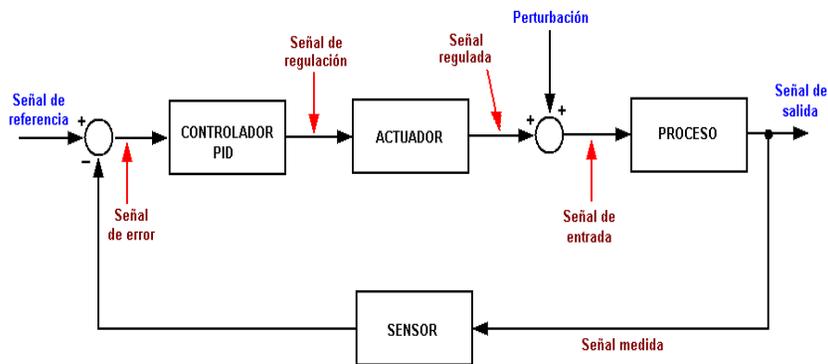
Después de eso veremos que se aplicará el control PID necesario para obtener otra señal de regulación que se le aplicará, en el tiempo adecuado, al actuador, en este caso al circuito de control o puente H para el motor DC, pero en este lado es donde aparecen las perturbaciones, las mismas que serán sumadas a la señal regulada, y es esa señal modificada que llega al proceso, en este caso al motor DC que queremos controlar.

Ahora, en un sistema de lazo abierto, nuestro controlador quedaría listo en este último punto, pero como se trata de un sistema de control en lazo cerrado tenemos que añadir la parte más importante de cualquier controlador robusto y de la que depende la estabilidad del sistema, esta parte se llama RETROALIMENTACIÓN.

La retroalimentación o *feedback* es el proceso que trata de medir la señal de salida, comparar dicha señal de salida con la señal de referencia, cuantificar el error y actuar sobre este para minimizar sus efectos en la estabilidad del sistema de control.

La medición de la señal de salida se la puede realizar mediante sensores acoplados al proceso o actuador final, transductores y acondicionadores de señal adecuados para que el controlador realice las comparaciones pertinentes.

En el siguiente esquema se presenta un sistema de control incorporando un controlador PID, además se aprecia donde se producen cada una de las señales.



**Figura 2.11:** Diagrama de bloques completo de un sistema de control

**Fuente:** (GOMEZ) Controladores PID

En conclusión, el controlador PID toma la respuesta del sistema de control, calcula la diferencia o el error entre la medición y lo que se quiere obtener y proporciona una nueva señal de control con los parámetros deseados, dicha acción modificará la respuesta del sistema a la señal de control.

Pero en conocimiento general ya sabemos lo que hace un control PID, pero no sabemos como lo hace.

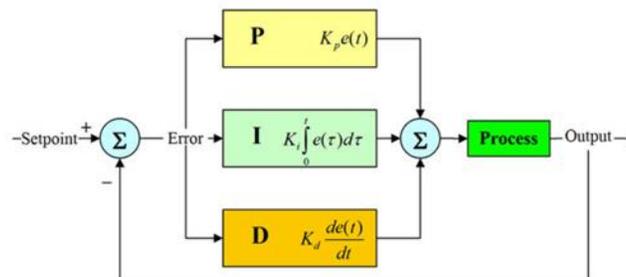
La respuesta es sencilla si nos fijamos en que existirán 3 constantes que modificarán ciertos parámetros del proceso de acuerdo a lo que necesite.

Para esto se tiene una constante PROPORCIONAL, un tiempo INTEGRAL, y un tiempo DERIVATIVO.

Estas constantes son las más importantes en un sistema de control de este tipo.

Nuestro trabajo, como Ingenieros de Control, será realizar los cálculos adecuados y efectuar las operaciones necesarias para obtener estos valores matemáticos, ingresarlos al sistema de control y comprobar que el proceso funcione correctamente, manteniendo una estabilidad y respondiendo eficazmente ante perturbaciones y cambios inoportunos en la señal de entrada.

La forma de adaptar bien este tipo de control a nuestro proceso es comenzando a captar, la acción sobre el sistema, que tiene cada variable e identificar si será conveniente incluirla o no.



**Figura 2.12:** Diagrama de bloques de un controlador PID

**Fuente:** (MATHWORKS, 2012)

Dichas constantes tienen su razón de ser en el controlador y cada una tendrá una acción predeterminada sobre el proceso.

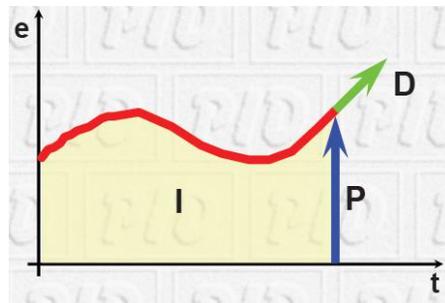
La ecuación de un controlador PID en tiempo continuo es:

$$u(t) = \underbrace{K_p e(t)}_P + \underbrace{\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt}_I + \underbrace{K_p T_d \frac{de(t)}{dt}}_D$$

**Figura 2.13:** Ecuación del controlador PID en dominio del tiempo

**Fuente:** (MORILLA, 2007)

La adecuada combinación de estos tres parámetros puede llegar a formar un controlador bastante robusto.



**Figura 2.14:** Parámetros PID

**Fuente:** (MORILLA, 2007)

A continuación veremos las funciones de cada parámetro y la acción que tiene sobre el proceso.

### 2.3.1.3.1. Parámetros de Control PID

#### 2.3.1.3.1.1. Ganancia Proporcional

Es la constante de proporcionalidad  $K_p$  en la acción de control proporcional.

Esto significa que si la constante  $K_p$  es pequeña, la acción proporcional será más pequeña.

Si la constante  $K_p$  es grande, la acción proporcional será más grande.



**Figura 2.15:** Parámetro Proporcional

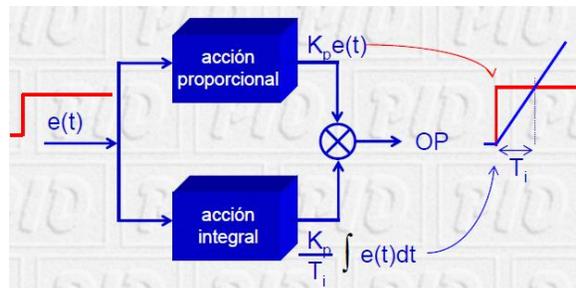
**Fuente:** (MORILLA, 2007)

#### 2.3.1.3.1.2. Constante de Tiempo Integral

Es el tiempo  $T_i$  requerido para que la acción integral contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción proporcional.

Análogamente a la constante de ganancia proporcional, la constante de tiempo integral  $T_i$  produce una acción integral grande siempre que su magnitud sea pequeña.

Al contrario, si  $T_i$  es grande, este producirá una acción integral pequeña.



**Figura 2.16:** Parámetro Integral

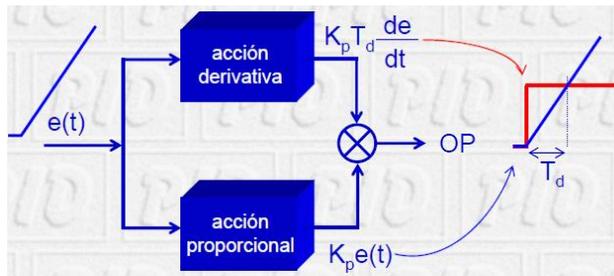
Fuente: (MORILLA, 2007)

### 2.3.1.3.1.3. Constante de Tiempo Derivativo

Es el tiempo  $T_d$  necesario para que la acción proporcional contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción derivativa.

El tiempo derivativo  $T_d$  es directamente proporcional a la acción derivativa.

Es decir, si se tiene un tiempo  $T_d$  pequeño, la acción derivativa será pequeña y viceversa.



**Figura 2.17:** Parámetro Derivativo

Fuente: (MORILLA, 2007)

### 2.3.1.3.2. Acciones de Control

Cada constante, de ganancia y tiempo, analizada anteriormente van de la mano con una acción, es decir, tienen un rol especial dentro del controlador.

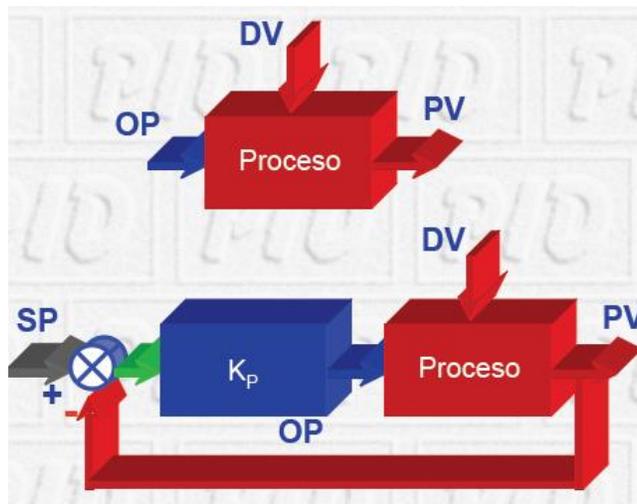
Debido a esto se estudiará la función de cada constante en particular para tener referencia de que realiza cada una y su acción sobre el proceso.

#### 2.3.1.3.2.1. Acción Proporcional

Produce una señal de control proporcional a la señal de error.

Esto significa que se determinará la reacción del error actual y origina una acción de control correctiva proporcional a la integral del error.

Esta acción es muy simple de sintonizar debido a que se trata de un solo parámetro. Reduce el error en estado estacionario, pero no lo elimina por completo.



**Figura 2.18:** Acción Proporcional

**Fuente:** (MORILLA, 2007)

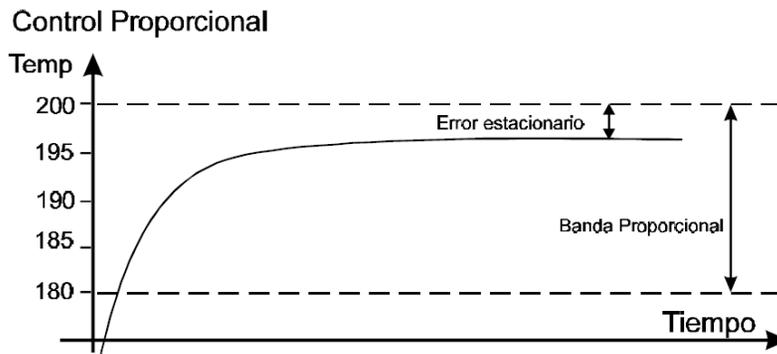
La acción proporcional tiene la siguiente ecuación:

$$U_p(t) = K_c * e$$

Tomaremos como un ejemplo válido de control proporcional al de temperatura, como se mencionó anteriormente, se toma dicho control por ser más fácil de comprender.

En este caso tomamos como referencia un Setpoint  $SP = 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  y añadiremos un término nuevo que se llama Banda Proporcional  $P_b$ , que es un porcentaje del setpoint que se sitúa por debajo del mismo, a lo largo de la cual, la potencia de salida variará proporcionalmente al error y disminuyendo cuanto más cercana sea la temperatura al Setpoint.

En la siguiente figura, se aprecia que se parametriza a  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  el setpoint y se configura en el controlador una banda proporcional del 10%.



**Figura 2.19:** Acción Proporcional

**Fuente:** (MORILLA, 2007)

Es decir, la banda a lo largo de la cual variará gradualmente la potencia será entre  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Por ejemplo, si la temperatura del horno es igual o menor de  $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la salida de control de potencia será de un 100%. Cuando la temperatura esté en la mitad de la banda, es decir en  $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la salida será de un 50%. Y cuando la temperatura del horno sea mayor o igual que  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ , entonces la salida de control de potencia será del 0%.

(Arian, Control & Instrumentación, 2011)

El lector analítico ya pudo haberse dado cuenta que el Control On/Off es un control proporcional con un  $P_b=0\%$ .

Esto nos lleva también a hacer un análisis posterior, ya que, si tomamos como referencia al Control On/Off como un control proporcional con una banda proporcional igual a  $0\%$ , podemos notar y tomamos como conclusión que, mientras menor sea la banda proporcional  $P_b$ , la salida del sistema se hace más oscilatoria.

### 2.3.1.3.2.2. Acción Integral

La acción integral generará una corrección proporcional a la integral del error. De esta forma, el error de seguimiento se reduce a cero.

Es un modo de controlar muy lento, debido a que brinda una salida directamente proporcional al error acumulado.

Su función principal es asegurar que la salida del proceso concuerde con la referencia en estado estacionario.

Según (AMÉSTEGUI, 2001, Enero) dice: “Con la acción integral, un pequeño error positivo siempre producirá un incremento en la señal de control y, un error negativo siempre dará una señal decreciente sin importar cuán pequeño sea el error.”

Esto nos lleva a la conclusión de que el error en estado estacionario siempre será cero con la acción integral.

Esta acción integral tiene la ventaja de asegurar que en última instancia se aplicará suficiente acción de control para reducir el error de regulación a cero.

Su función en el dominio del tiempo queda expresada así:

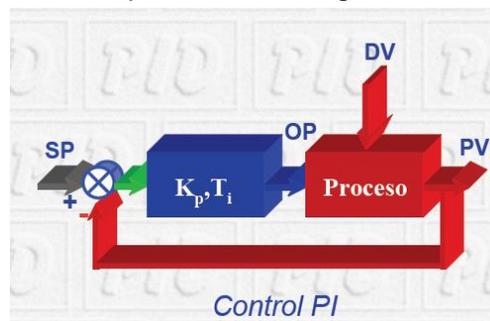
$$u_i(t) = \frac{K_c}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

(MAZZONE, Controladores PID, 2002, Marzo) nos relata que: “La señal de control  $u_i(t)$  tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error  $e(t)$  es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.”

Y la fórmula de acción integral expresada en el dominio de la frecuencia compleja S:

$$U_i(s) = \frac{K_i}{s}$$

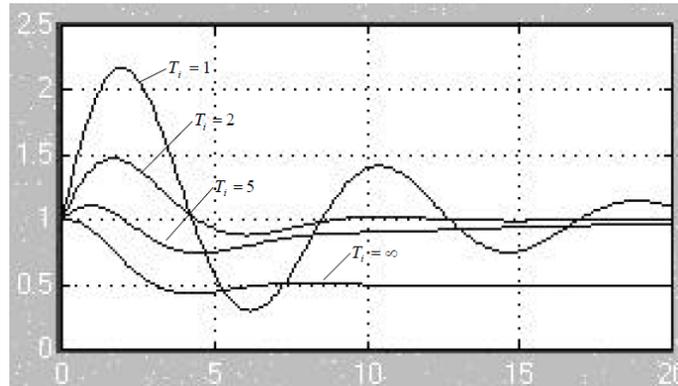
En la fórmula se nota lo dicho anteriormente, de que esta acción cumple con la función de integrar la señal de error y proporcionar una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna.



**Figura 2.20:** Acción Integral

**Fuente:** (MORILLA, 2007)

Sin embargo, si la constante  $T_i$  disminuye mucho, la acción integral también tiene un efecto desestabilizador debido al corrimiento de fase agregado.



**Figura 2.21:** Acción Integral para distintos valores de  $T_i$

**Fuente:** (AMÉSTEGUI, 2001, Enero)

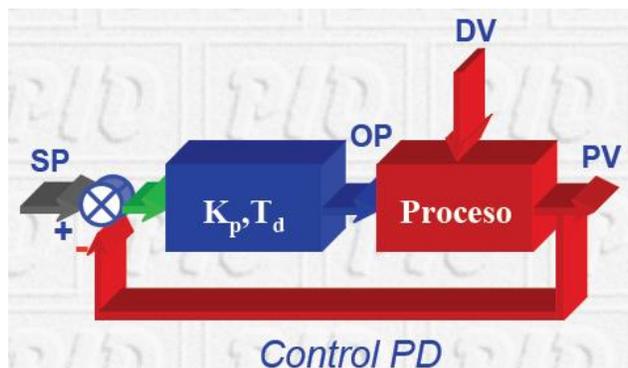
### 2.3.1.3.2.3. Acción Derivativa

El término derivativo se lo conoce por brindar propiedades predictivas, casi como “anticipando el futuro” de una función en un proceso.

En este caso se generará una acción de control proporcional a la velocidad de cambio del error.

Se anticipa el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier perturbación.

De esta forma, decimos que esta acción tiene un carácter de previsión, se puede “adelantar” la acción de control del mando de salida haciéndola más rápida, para obtener así un sistema más estable.



**Figura 2.22:** Acción Integral para distintos valores de  $T_i$

**Fuente:** (AMÉSTEGUI, 2001, Enero)

La acción de control derivativa nunca se utiliza por sí sola, debido a que solo es eficaz durante periodos transitorios.

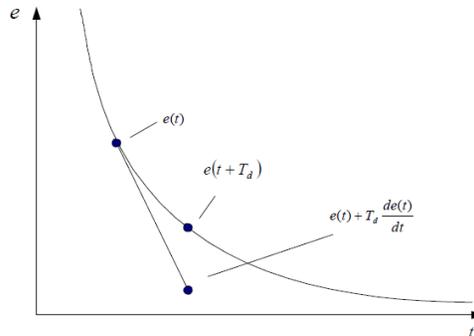
El propósito de la acción derivativa es mejorar la estabilidad en lazo cerrado, por lo tanto, en sistemas donde encontremos la acción derivativa tendremos un poco más de estabilidad, esto se debe a que el control derivativo añade amortiguamiento al sistema, esto permite

tener una ganancia  $K$  más grande, y esto provocará la mejora en el estado estable, aunque este no afecte directamente al error en estado estacionario.

Debido a la dinámica del proceso, pasa algún tiempo antes de que la variable de control se note en la salida del proceso. De esta manera, el sistema de control tarda en corregir el error. La acción de un controlador con acción proporcional y derivativa puede ser interpretada como si el control proporcional fuese hecho para predecir la salida del proceso. La predicción se hace por la extrapolación del error de control en la dirección de la tangente a su curva respectiva.

(AMÉSTEGUI, 2001, Enero)

Esto se interpreta en la siguiente figura:



**Figura 2.23:** Interpretación geométrica de la acción derivativa como control predictivo

**Fuente:** (AMÉSTEGUI, 2001, Enero)

Su función en el dominio del tiempo es:

$$u_d(t) = K_c T_d \frac{de(t)}{dt}$$

Y su transformada de Laplace es:

$$U_d(s) = K_d s$$

Aunque hay un gran detalle que hay que tener en cuenta al diseñar sistemas automáticos, porque si una acción de control derivativa se agrega a un controlador proporcional, nos da lugar a un controlador de alta sensibilidad, es decir, responde a la velocidad de cambio del error y produce una corrección significativa antes de que la magnitud del error se vuelva demasiado grande.

A su vez, esta alta sensibilidad también es una desventaja, ya que, muchos sistemas poseen ruido, y el sistema de control también puede detectar ese ruido y generar grandes valores en la señal de control.

#### 2.3.1.4. Algoritmo PID

Ya se ha mencionado que la función básica de un controlador PID es comparar el valor del setpoint (SP) con la variable de proceso (PV). La diferencia entre estas dos señales da lugar al error.

$$e = SP - PV$$

Entonces, el controlador PID calcula la acción controladora,  $u(t)$ , para ser aplicada al proceso.

La suma de las 3 acciones vistas anteriormente, dan lugar al controlador PID de mayor robustez.

$$u(t) = u_p + u_i + u_d$$

Matemáticamente se la expresa como un función en el dominio del tiempo, la cual se pasará al dominio de la frecuencia compleja  $S$  y posteriormente, se la multiplica por la función de transferencia de la planta.

Analizando más profundamente la ecuación del controlador PID tenemos:

$$u(t) = K_c \left[ e + \frac{1}{T_i} \int_0^t e \, dt + T_d \frac{de}{dt} \right]$$

Si el error y la salida del controlador tienen el mismo rango, la ganancia del controlador es recíproca a la banda proporcional.

$T_i$  es el tiempo integral dado en minutos, también llamado tiempo reset.

$T_d$  es el tiempo derivativo, también expresado en minutos, llamado comúnmente razón de cambio.

(NATIONAL INSTRUMENTS, 2009, Junio)

Y la función tan esperada, la del controlador PID en el dominio de la frecuencia.

$$U(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

### 2.3.1.5. Simulación en Matlab

Aunque no es el objetivo principal del trabajo el aprendizaje de Matlab, se incluye una breve descripción de lo que significa Matlab alrededor de la industria y la academia.

Según Mathworks, lo define como:

Matlab es un lenguaje de alto nivel y entorno interactivo, para cálculos matemáticos, visualización de gráficas y programación.

Usando Matlab tú puedes analizar datos, desarrollar algoritmos, crear modelos y aplicaciones y mucho más.

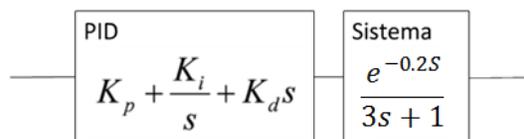
El lenguaje, las herramientas y las funciones matemáticas incluidas, te permitirán explorar múltiples aplicaciones y encontrar la solución rápida a varios problemas usando programación tradicional, tales como, C/C++ o Java.

Más de un millón de ingenieros y científicos, en la industria y en la academia, alrededor del mundo usan Matlab. (MATHWORKS, 2012)

A continuación se presenta el código correspondiente para simular un controlador PID en Matlab, para esto tomamos como ejemplo una función de transferencia de un sistema:

$$T(s) = \frac{e^{-0.2s}}{3s + 1}$$

Al aplicarle el control PID nos queda un diagrama de bloques así:



**Figura 2.24:** Diagrama de bloques para el ejemplo en Matlab

**Fuente:** El Autor

Con esto, el código en Matlab queda de la siguiente manera:

```
clc      %Limpia la pantalla
s=tf('s'); %Crea una función de transferencia
en el dominio de s
sys=exp(-s*0.2)/(3*s+1);      %Función      de
transferencia del proceso T(s)

%%A continuación pondremos las constantes que
utilizaremos en el
%%controlador PID

Kp=0.2; %Constante Proporcional
Ki=0.5; %Constante Integral
Kd=0.3; %Constante Derivativo

%%A continuación la función de transferencia
del controlador PID

c = Kp + Ki/s + Kd*s;
c= pid(Kp,Ki,Kd);
%%A continuación el gráfico o de la función
step(1,1); hold on;
axis([0 50 0 1.5]);      %Indica los límites y
                        escalado      de      la
                        %gráfica : axis([XMIN
                        XMAX YMIN YMAX])

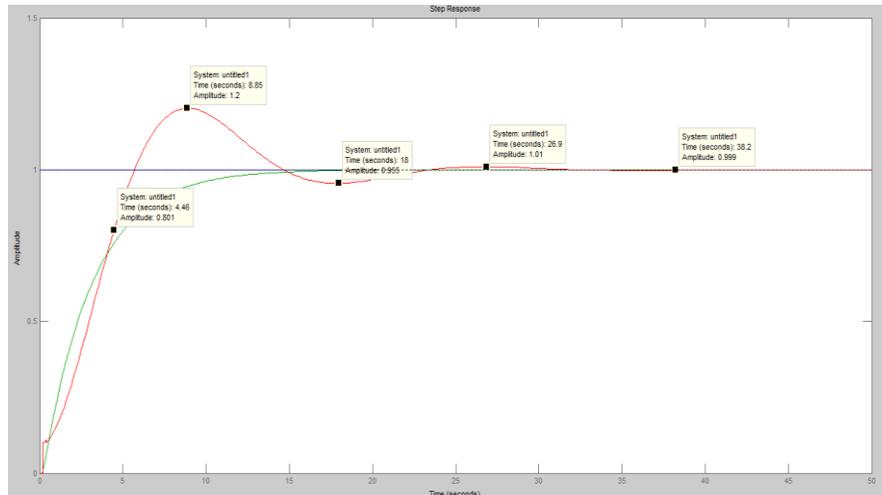
step(sys);      %Respuesta al escalón
del sistema dinámico

step      (feedback((c*sys),1))      %Grafica el
cálculo de un modelo en lazo
                        %cerrado con el lazo
                        de      realimentación
                        %unitaria      añadido,
                        multiplicando      el
                        %controlador PID por
                        el proceso.
```

**Tabla 2:** Código para Matlab de Controlador PID

**Fuente:** El Autor

Con estas condiciones el software Matlab nos grafica lo siguiente:



**Figura 2.25:** Análisis de la respuesta transitoria del ejemplo propuesto en Matlab

**Fuente:** El Autor

Con esta gráfica podremos analizar la estabilidad del sistema mediante su respuesta transitoria.

En la gráfica anterior se han puesto los indicadores necesarios para poder encontrar el tiempo de subida, el porcentaje de sobreelongación, el tiempo de asentamiento y el error en estado estacionario.

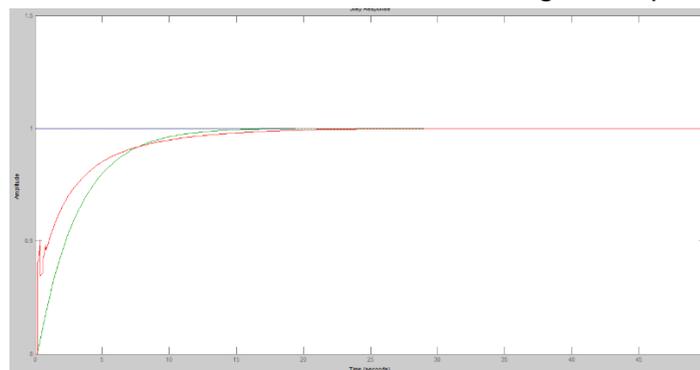
Ahora, en el mismo ejemplo, cambiamos las constantes del controlador PID por los siguientes valores:

$$K_p = 2;$$

$$K_i = 0.4;$$

$$K_d = 1.2;$$

Y nos resulta un sistema más estable como lo muestra el siguiente plot:



**Figura 2.26:** Análisis de la respuesta transitoria del ejemplo propuesto en Matlab modificado

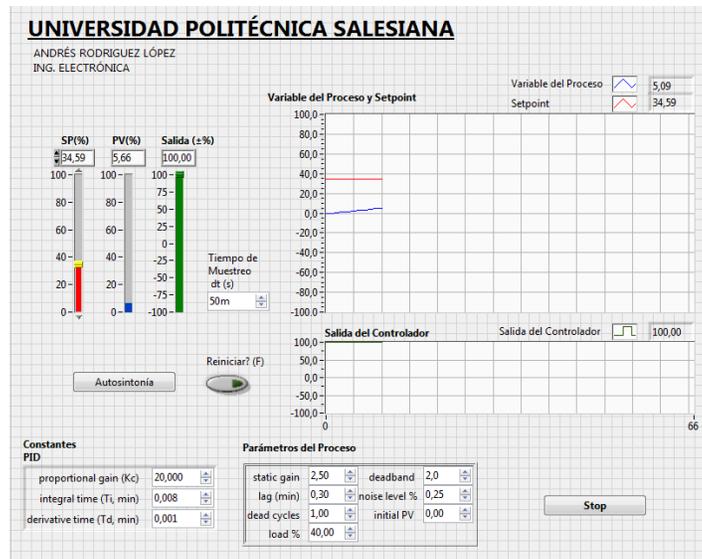
**Fuente:** El Autor

### 2.3.1.6. Simulación en Labview

Aunque el aprendizaje de las técnicas de Labview para sistemas de control SÍ es el objetivo del curso, proponemos un ejemplo introductorio a manera de simulación para poder analizar el comportamiento de un sistema ante perturbaciones y como estas son minimizadas mediante un robusto control PID, pero no adentraremos aún en como elaborar el programa,

ya que, necesitamos conocer los conceptos sólidos en estos temas y después experimentar con prácticas más complejas, en las cuales se utilicen elementos reales utilizados en el entorno industrial y con los cuales se puede brindar otro enfoque didáctico.

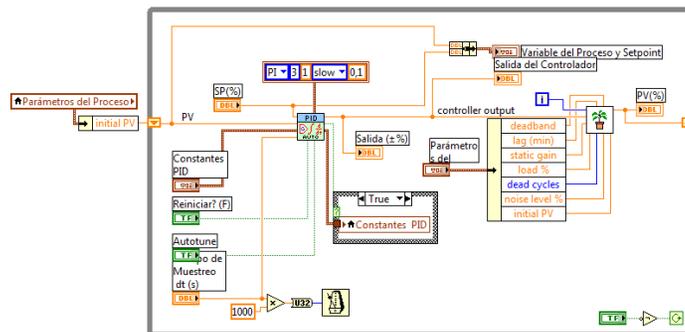
Se tiene un VI de la siguiente forma:



**Figura 2.27:** Panel frontal del Simulador PID en Labview

**Fuente:** El Autor

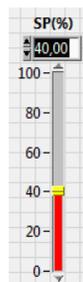
Y el diagrama de bloques nos queda de la siguiente manera:



**Figura 2.28:** Diagrama de Bloques del Simulador PID en Labview

**Fuente:** El Autor

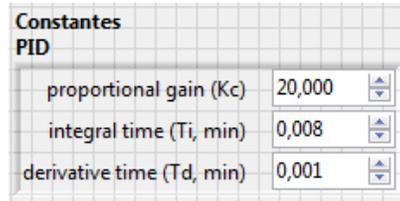
Para el ejemplo, editaremos el setpoint a 40%.



**Figura 2.29:** Edición del setpoint en el simulador de PID

**Fuente:** El Autor

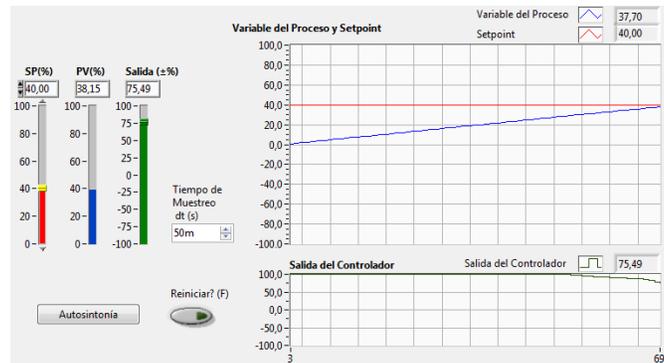
También editaremos las constantes del controlador PID.



**Figura 2.30:** Edición de las constantes en el simulador de PID

**Fuente:** El Autor

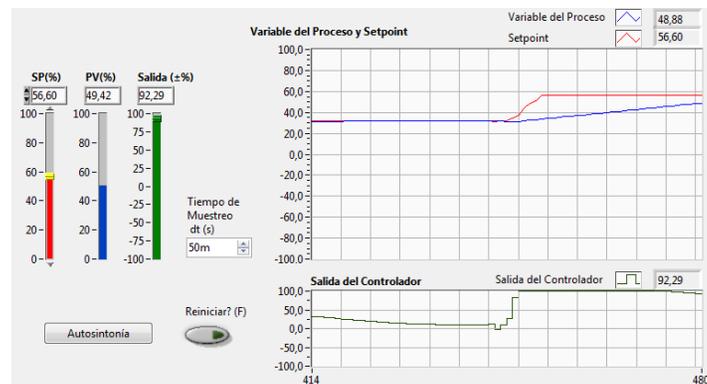
Ponemos a correr el programa y el controlador PID hace efecto.



**Figura 2.31:** Simulador PID en parámetros normales

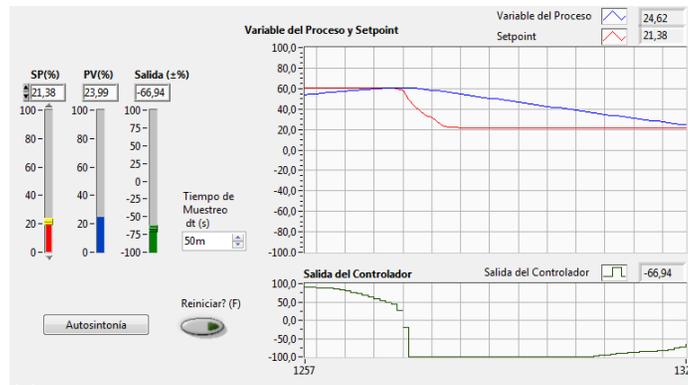
**Fuente:** El Autor

Ahora variamos el setpoint bruscamente para que el sistema automáticamente busque la respuesta indicada. Note como también variará la variable del proceso y la salida del controlador.



**Figura 2.32:** Cambios bruscos en el Setpoint del simulador PID

**Fuente:** El Autor

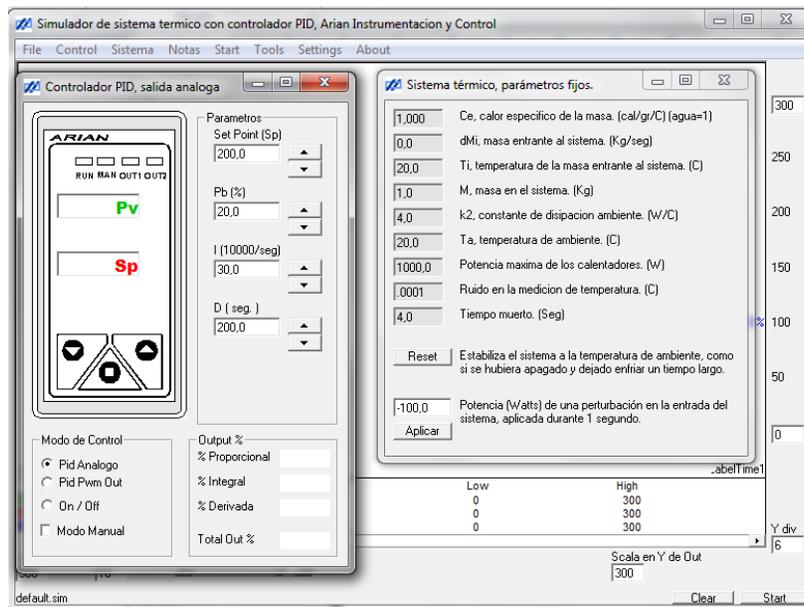


**Figura 2.33:** Cambios bruscos en el Setpoint del simulador PID 2

**Fuente:** El Autor

La empresa chilena ARIAN, que está dedicada a la investigación y desarrollo de controladores PID de temperatura, ha desarrollado un software para entrenamiento en el manejo de controladores PID.

En este trabajo de grado se presentarán algunos ejemplos puntuales donde podremos simular controladores On/Off con o sin Histéresis, controladores PID, con o sin ruido, entre otros, y analizar los comportamientos reales de ellos en las aplicaciones cotidianas, generalmente se simulan procesos de temperatura.

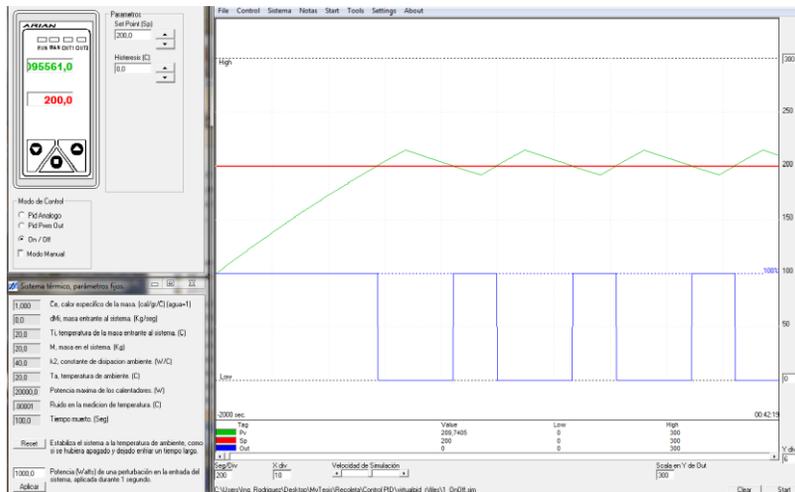


**Figura 2.34:** Pantalla Principal del Software VIRTUAL PID de ARIAN

**Fuente:** (ARIAN, 2011)

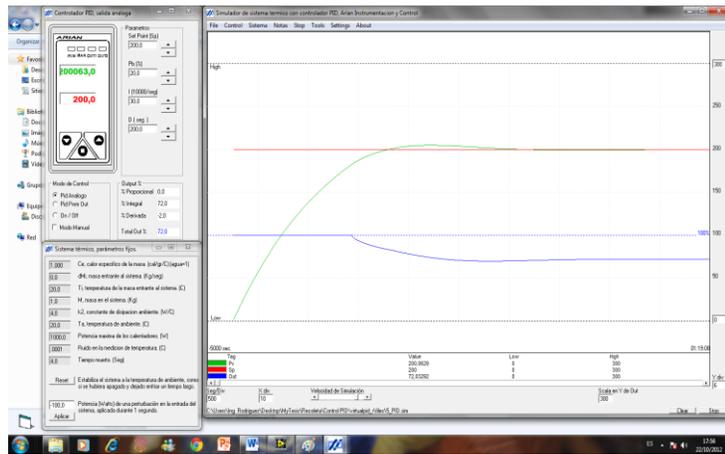
En el Cd adjunto al trabajo de grado se encuentra el ejecutable de Virtual PID en su versión demo y algunos ejemplos con sistemas de control automático

Por ejemplo simulamos un control On/Off, con la ventaja de que podemos editar los parámetros a nuestro gusto y medida.



**Figura 2.35:** Simulación de un control On/Off en el VIRTUAL PID de ARIAN

Fuente: El Autor



**Figura 2.36:** Simulación de un control PID en el VIRTUAL PID de ARIAN

Fuente: El Autor

## 2.4. Variadores de Frecuencia

### 2.4.1. Definición

Los variadores de frecuencia son elementos diseñados específicamente para controlar la velocidad de rotación de un motor AC mediante el control de la frecuencia de la alimentación que se le suministra a dicho motor.

Según señala Ramón Piedrafita en su texto “Ingeniería de la Automatización Industrial”:

Los variadores de velocidad comprenden una parte de potencia y otra de mando. La parte de potencia comprende los elementos de conmutación y dispositivos asociados (tiristores, mosfets, protecciones, etc.).

La parte de mando agrupa el control de los elementos de potencia, la interfaz de comunicación con el autómatas programable y captación de señales de sensores o captadores necesarios para efectuar la regulación de velocidad. El control de velocidad se puede realizar en bucle abierto o en bucle cerrado según se tome en cuenta o no la señal proporcionada por un encoder. (PIEDRAFITA, 2009).

### 2.4.2. Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento de estos componentes se argumenta básicamente en la siguiente fórmula:

$$RPM = \frac{120 * f}{\#p}$$

Donde:

RPM = Velocidad en revoluciones por minuto

f = Frecuencia

#p = Número de polos

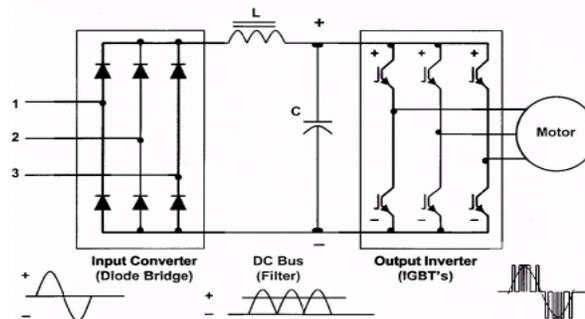
Esta fórmula nos indica claramente que la frecuencia varía proporcionalmente con la velocidad del motor.

Por este principio decimos que mientras aumentemos la frecuencia de la alimentación suministrada al motor, existirá un aumento en la velocidad del mismo y viceversa, si reducimos la frecuencia, reducirá notablemente la velocidad.

Análogamente, como principio de las máquinas eléctricas, sabemos que si aumenta la velocidad de un motor lo que perderemos es el torque aplicado del mismo, ya que, la velocidad es inversamente proporcional al torque.

### 2.4.3. Esquema eléctrico del variador de frecuencia

A continuación se presenta el esquema eléctrico general de todo variador de frecuencia.



**Figura 2.37:** Esquema eléctrico del variador de frecuencia

**Fuente:** <http://www.joliettech.com/>

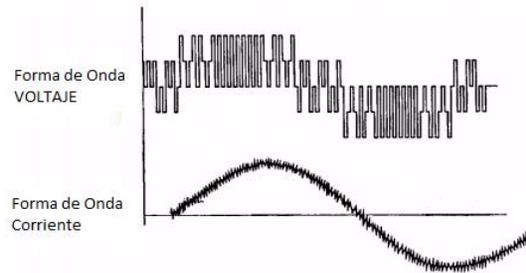
En este esquema se puede apreciar el funcionamiento interno de un variador de frecuencia que se clasifica en tres etapas.

La primera etapa es donde interviene el puente de diodos, realizando la conversión AC/DC de la alimentación trifásica.

Posteriormente a esto, se encuentra la segunda etapa, que presenta un filtro LC (Inductor-Capacitor), que se encargará del suavizado del rizo de la señal y filtrado de cualquier componente AC de la onda rectificada.

Como último paso, encontramos la etapa inversora, que está compuesta por los transistores bipolares de compuerta aislada (IGBT). Esta etapa, como su nombre lo indica, realizará la inversión de la señal DC para convertirla en AC nuevamente con los dispositivos semiconductores, que serán *disparados* para conmutar sus terminales mediante un sistema microcontrolado.

Lo que se trata de hacer con la etapa inversora es reconstruir la señal AC según las variaciones de frecuencia que sean dispuestas por el usuario mediante la modulación por ancho de pulso PWM.



**Figura 2.38:** Forma de onda de salida del variador de frecuencia

Fuente: <http://www.joliettech.com/>

#### 2.4.4. Sinamics G110

Sinamics G110 es un convertidor de frecuencia con una funcionalidad básica idónea para la mayor parte de aplicaciones industriales con accionamientos de velocidad variable. (SIEMENS, Julio, 2005)

Según SIEMENS, entre los beneficios que tenemos al utilizar estos variadores son:

- Instalación, parametrización y puesta en servicio simples.
- Máxima compatibilidad electromagnética.
- Funcionalidades adaptadas.
- Información de estado a través del BOP.
- Protección de las partes mecánicas

Los variadores de frecuencia Sinamics G110 de Siemens son ampliamente utilizados en las industrias a nivel mundial.

Esto se debe a su rápida puesta en marcha y su gran gama de funcionalidades básicas pero muy útiles a la hora de montar proyectos que requieran variar velocidad de motores de una manera eficiente y sencilla.

En la actualidad, Siemens ha lanzado al mercado una gran lista de variadores de frecuencia pero con inteligencia incorporada con funciones destacadas y diseñados para aplicaciones severas, algunos de estos son de la línea Micromaster.

En la siguiente imagen podemos apreciar el variador en mención, el cual utilizaremos para la regulación de velocidad del motor trifásico que contiene este proyecto.



**Figura 2.39:** Sinamics G110

**Fuente:** El Autor

#### **2.4.5. BOP (Basic Operator Panel)**

El Panel de operador básico es un componente que se le adiciona a cada tipo de variador de frecuencia Siemens para que haga la función de Interfaz entre el usuario y la máquina, ya que, desde aquí podemos ver valores y tendencias de las variables numéricas en tiempo real.

Además es posible programar dicho variador mediante una lista de parámetros especiales que serán modificados de acuerdo a las características intrínsecas de cada aplicación en particular.

Cada variador será dimensionado de acuerdo a la potencia del motor trifásico a regular. Por lo tanto, antes de comprar un variador de frecuencia, antes debemos tener en cuenta las condiciones y parámetros nominales del motor y de la aplicación para la cual se lo va a instalar.

La lista de parámetros es fácilmente editable desde el BOP mediante los pulsantes que este posee, dicha lista vendrá adjunta con el equipo al momento de realizar la compra.

Con el Basic Operator Panel BOP, es posible poner en marcha accionamientos, vigilar el funcionamiento y realizar ajustes de parámetros concretos.

Gracias a la orientación por menús en una pantalla de 1 línea, la puesta en marcha de los accionamientos estándar resulta fácil.

Mediante la visualización simultánea de los parámetros y los valores de parámetro, así como el filtro de parámetros, se puede realizar la puesta en marcha básica de un accionamiento cómodamente y, en la mayoría de los casos sin necesidad de tener una lista de parámetros impresa.

(SIEMENS, Convertidores de Frecuencia Descentralizados, 2010)

A continuación, en la siguiente figura se presenta una imagen del BOP para el Sinamics G110. Se puede apreciar que tiene una morfología muy simple y fácilmente adaptable para el variador. Desde las botoneras podemos editar los parámetros necesarios para poner en marcha nuestra aplicación.



**Figura 2.40:** Basic Operator Panel

**Fuente:** El Autor



**Figura 2.41:** BOP adaptado al Sinamics G110

**Fuente:** El Autor

Además, en la siguiente figura, se muestra una foto en la cual se ve el disipador de calor que ya viene acoplado desde fábrica al variador de frecuencia.

Esto se instala debido a la gran generación de calor interno por parte de los componentes electrónicos que componen el variador de frecuencia.



**Figura 2.42:** Disipador de calor adaptado al Sinamics G110

**Fuente:** El Autor

## 2.5. Motor Asíncrono Trifásico

La parte fundamental del proyecto, en la parte de control de velocidad, es el motor trifásico. Los motores son la parte fundamental en las aplicaciones de carácter industrial y han sido utilizados por décadas para múltiples proyectos.

### 2.5.1 Definición

El fin de todo motor es convertir la energía eléctrica en energía mecánica.

Según José Roldán, autor del libro “Motores Eléctricos, Automatismos de Control”:

El motor trifásico consiste básicamente de la carcasa, en donde se aloja el estator, que es parte del circuito magnético.

La parte fundamental del motor es el bobinado, ya que, dentro de las ranuras del estator se aloja el circuito eléctrico formado por bobinas conectadas entre sí, de manera que formen 3 fases o grupos de bobinas.

Según sea el conexionado de las bobinas, se conseguirá más o menos polaridad y de esto dependerá la velocidad del motor.

Dentro del estator se encuentra el rotor, que gira sobre un eje por efecto del campo magnético. Existen rotores de varios tipos, como por ejemplo, los rotores Jaula de Ardilla o los rotores bobinados. (ROLDÁN, José, 2008)

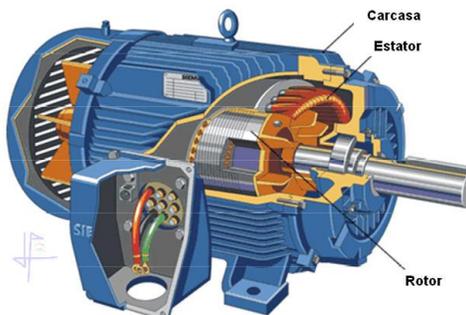


**Figura 2.43:** Motor Trifásico utilizado en el proyecto

**Fuente:** El Autor

### 2.5.2. Características de un Motor Asíncrono Trifásico

Todo motor asíncrono trifásico tiene 3 componentes importantes que son: la Carcasa, el rotor y el estator, siendo los dos últimos en donde se alojen las bobinas para generar los campos magnéticos.



**Figura 2.44:** Partes de un Motor Trifásico

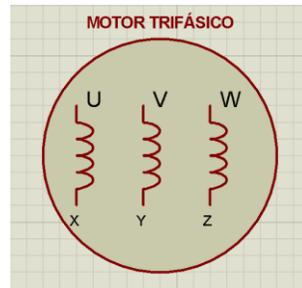
**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

La carcasa contiene al rotor, al estator y a todos los demás partes que componen al motor. El estator posee un devanado trifásico distribuido en ranuras desfasadas a 120° eléctricos.



**Figura 2.45:** Estator de un Motor Trifásico

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>



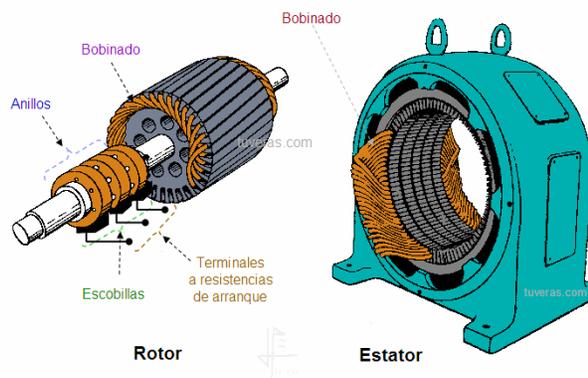
**Figura 2.46.** Disposición de las bobinas dentro del estator de un Motor Trifásico

**Fuente:** El Autor

El rotor posee dos tipos de variantes, ya sea rotor bobinado o rotor “jaula de ardilla”.

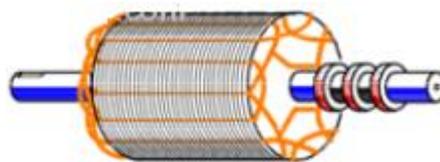
En el rotor bobinado, los devanados son iguales a los del estator con el cual está asociado, siendo iguales incluso en el número de polos que presente cada uno, aunque no es necesario que el número de fases del rotor sea igual al del estator.

Las bobinas del rotor están conectadas a anillos colectores montados sobre el mismo eje.



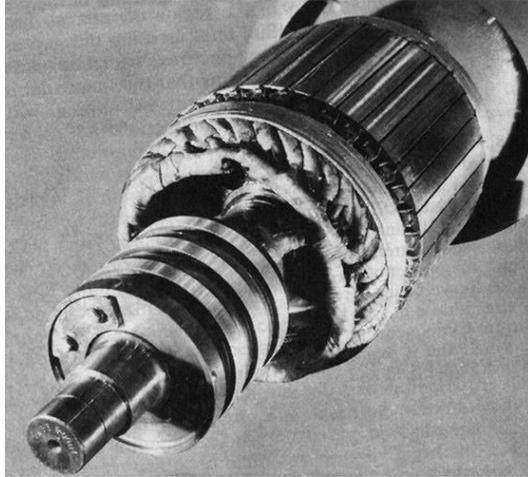
**Figura 2.47:** Rotor Bobinado de un Motor Asíncrono Trifásico

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>



**Figura 2.48:** Rotor Bobinado de un Motor Trifásico

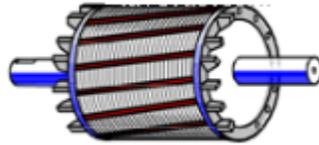
**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>



**Figura 2.49:** Aspecto Real de un Rotor Bobinado

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

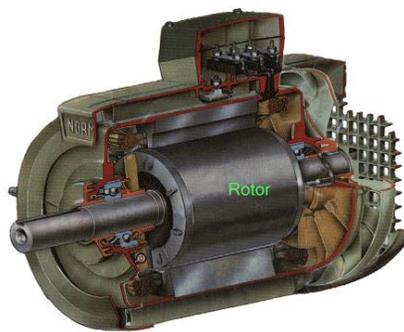
En el rotor *Jaula de Ardilla*, los conductores del rotor están igualmente distribuidos por la periferia del rotor. Los extremos de estas bobinas están cortocircuitados, por lo tanto, no hay posibilidad de conexión para el devanado del rotor en la carcasa exteriormente.



**Figura 2.50:** Ranuras inclinadas de un Rotor *Jaula de Ardilla* de un Motor Trifásico

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Además, este tipo de rotores tienen las ranuras inclinadas, razón por la que nos ofrecen las ventajas de disminuir los ruidos y mejorar las propiedades de arranque.



**Figura 2.51:** Rotor *Jaula de Ardilla* de un Motor Trifásico

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>



**Figura 2.52:** Aspecto real de un Rotor *Jaula de Ardilla*

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Debemos reconocer que estas son las bobinas que deben haber sido diseñadas previamente para el correcto funcionamiento del motor.

La forma de conexión, con algún automatismo de control, viene dado por sus datos de placa. Todo motor debe traer consigo su respectivo dato de placa, con el cual podremos realizar los cálculos necesarios para nuestra aplicación particular.



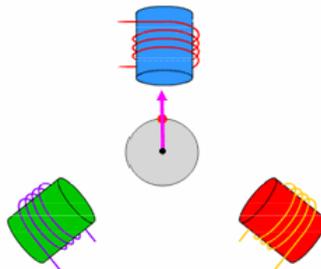
**Figura 2.53:** Motor Trifásico incluido en una aplicación real

**Fuente:** El Autor

### 2.5.3. Principio de funcionamiento del Motor Asíncrono Trifásico

Lo primero es obtener un campo magnético giratorio que estimule al rotor.

Esto se lo logra alimentando trifásicamente las bobinas del estator mediante alguna conexión, ya sea estrella o delta, para así poder generar dicho campo.



**Figura 2.54:** Campo Magnético Giratorio Trifásico

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Este campo magnético giratorio va a generar un flujo que inducirá las corrientes en el rotor. Si recordamos la siguiente fórmula de la ley de Biot - Savart:

$$F = (l \times \vec{B}) \cdot I$$

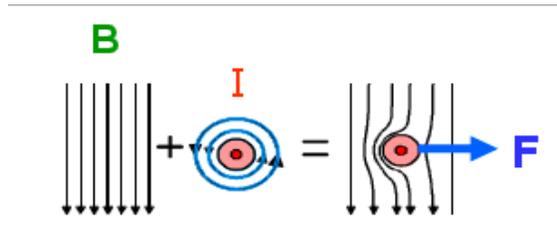
Donde:

$I$  = Corriente que circula por el conductor

$B$  = Densidad de campo magnético

$l$  = longitud del conductor

De esta fórmula tenemos que por cada conductor de los devanados del rotor se tiene un campo magnético y una corriente inducida por el estator, esto dará lugar a una fuerza inducida que dará lugar a la potencia o par del motor.

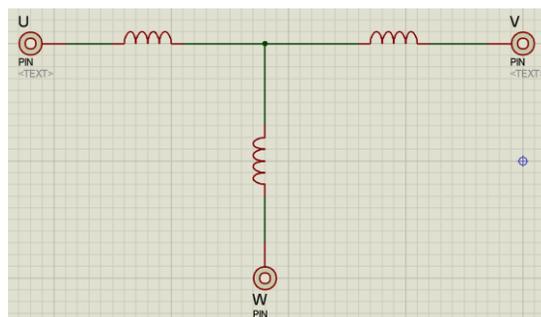


**Figura 2.55:** Fuerza resultante en el rotor

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

### 2.5.4. Conexiones

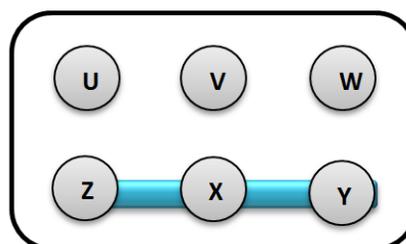
En la conexión en ESTRELLA, se deben unir los extremos de las bobinas a un solo terminal común y los otros tres terminales restantes son los otros extremos de las bobinas.



**Figura 2.56:** Bobinas del Motor Trifásico en Estrella

**Fuente:** El Autor

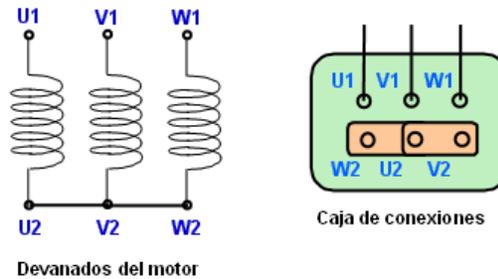
ESTRELLA



**Figura 2.57:** Conexión en estrella de las placas del motor en la caja de bornes

**Fuente:** El Autor

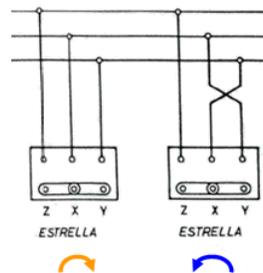
### Conexión en Estrella



**Figura 2.58:** Conexión en estrella

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

Si se intercambian únicamente la alimentación de dos bobinas se cambiará el sentido de giro del motor.

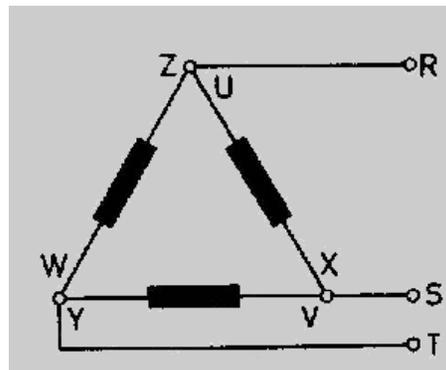


**Figura 2.59:** Giro Normal e inversión de giro en conexión estrella

**Fuente:** <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

En la conexión en Delta o triángulo, las bobinas se unen formando un triángulo.

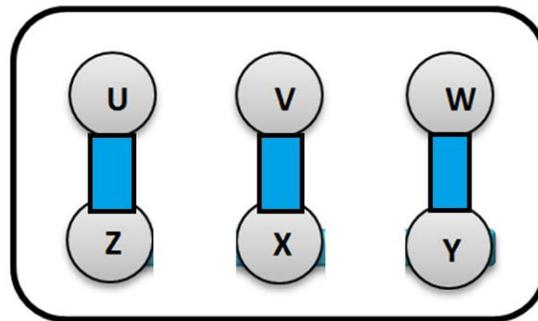
El voltaje de las bobinas entre fases es totalmente el mismo voltaje que cae sobre cada bobina.



**Figura 2.60:** Conexión Delta del motor

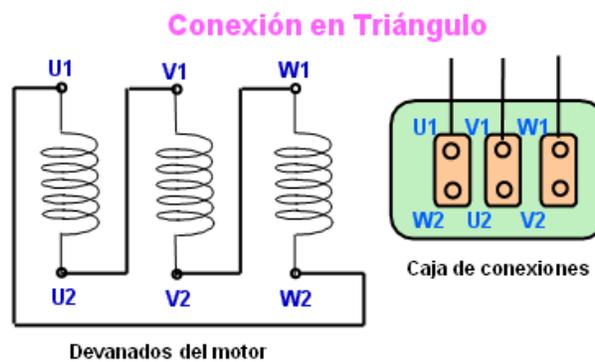
**Fuente:** <http://www.sabelotodo.org/electrotecnia/gentrifasico.html>

## DELTA



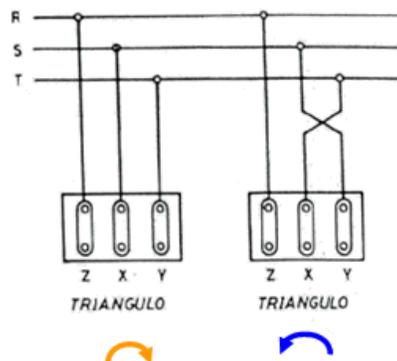
**Figura 2.61:** Conexión en delta de las placas del motor en la caja de bornes

Fuente: El Autor



**Figura 2.62:** Conexión en triángulo

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>



**Figura 2.63:** Giro Normal e inversión de giro en conexión delta o triángulo

Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/motorasincrono1.htm>

## 2.6. Resistencias Caloríficas

### 2.6.1 Definición

Las resistencias son los elementos que se oponen al paso de la corriente eléctrica.

Por lo tanto si por una resistencia circula una corriente, esta deberá ser disipada de alguna manera.

Una parte se disipa en forma de potencia eléctrica, y el resto se disipa en forma de calor hacia el exterior. Este principio será el que apliquemos para generar calor en una caja metálica y poder realizar los procesos de control de temperatura correspondientes.

### 2.6.2. Resistencias Blindadas

Son resistencias especiales, diseñadas para laboral en el entorno industrial, ya que, se las pueden conectar al voltaje de ajuste que nosotros queremos.

En este proyecto utilizaremos una resistencia blindada, de tipo “M”, la misma que hará el proceso de calentamiento de una caja, en la cual está contenida, para posteriormente medir temperatura de dicho proceso.

Esto simulará eficazmente a las calderas industriales, por lo cual es importante saber cual va a ser el método de control de la misma.

Se fabrican según su uso con vaina de cobre, acero inoxidable "304". La variedad de diámetro y longitudes en que se pueden fabricarse, unida a la ductilidad de los materiales empleados, permiten obtener desde pequeños elementos para electrodomésticos hasta grandes equipos para calentamiento de líquidos o grandes volúmenes de aire. (BONOMI srl)

La resistencia blindada estará montada en un chasis metálico con el respectivo aislamiento galvánico, que es indispensablemente necesario para no transmitir el calor hacia el exterior de la caja. Dentro de este chasis se encontrará el sensor de temperatura PT-100, del cual se explicará sus características posteriormente.



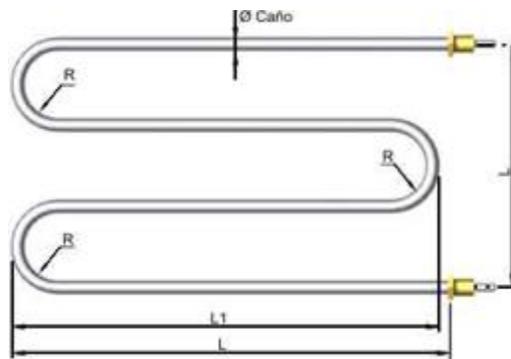
**Figura 2.64:** Resistencias tubulares blindadas

**Fuente:** (Diamore) <http://www.diamoresa.com.ar/Blindadas.html>

Según indica (Diamore) en su página web sobre resistencias blindadas, nos dice: “Estos calefactores son inigualables por su resistencia al shock, a la vibración, corrosión, alta temperatura y condensación de humedad. Su construcción robusta les da alta confiabilidad.” (Diamore)

La resistencia utilizada en este proyecto de tesis ha sido diseñada específicamente para que caliente al momento de inyectarle 120 VAC/60 Hz.

Dicha resistencia es tubular en forma de “M”.



**Figura 2.65:** Resistencia tubular en “M”

**Fuente:** (Diamore) <http://www.diamoresa.com.ar/Blindadas.html>



**Figura 2.66:** Resistencia tubular en “M” incluida en un chasis metálico

**Fuente:** El Autor

Este chasis ha sido diseñado de tal manera que la resistencia tubular genere calor internamente y provee de una entrada para el sensor PT-100 y otro hueco para el extractor de aire.



**Figura 2.67:** Resistencia tubular en “M” incluida en un chasis metálico

**Fuente:** El Autor

Además de esto, el chasis viene con un recubrimiento de lana y es de acero inoxidable, razón por la cual, el calor generado por la resistencia no traspase hacia el exterior. Esto se lo realizó pensando en la seguridad de los estudiantes que operarán el banco de trabajo.



**Figura 2.68:** Chasis metálico de acero inoxidable con recubrimiento de lana

**Fuente:** El Autor

## 2.7. MYDAQ

### 2.7.1. Conceptos y generalidades

La tarjeta MYDAQ es una interfaz electrónica de National Instruments para adquisición de datos en tiempo real y que se alimenta mediante conexión USB.



**Figura 2.69:** NI MyDAQ y su conexión al PC

**Fuente:** (National Instruments, 2011) [www.ni.com/latam](http://www.ni.com/latam)

Esta tarjeta ofrece varias ventajas frente a otras tarjetas DAQ (Data Acquisition), ya que viene acompañada del software Labview y Multisim, con los cuales se puede llegar a hacer diseños realmente complejos, en los cuales realicemos supervisión y control.

Según indica National Instruments, fabricante del producto:

Diseñado para experimentación práctica fuera del laboratorio, NI myDAQ combina la portabilidad con un extenso juego de características. NI myDAQ permite ingeniería real y cuando es combinado con NI LabVIEW y Multisim, proporciona a los estudiantes la habilidad para generar prototipos de sistemas y analizar circuitos fuera de clases y del laboratorio. (National Instruments, 2011)

Esta interfaz es el centro de nuestro trabajo de investigación, por lo cual, se le prestará mayor importancia a dicha tarjeta.

En una sola tarjeta tendremos la posibilidad de controlar todos los sistemas planteados en la tesis, ya que, esta interfaz posee entradas y salidas, tanto digitales como analógicas que harán posible la comunicación entre los sistemas y los programas a desarrollar.



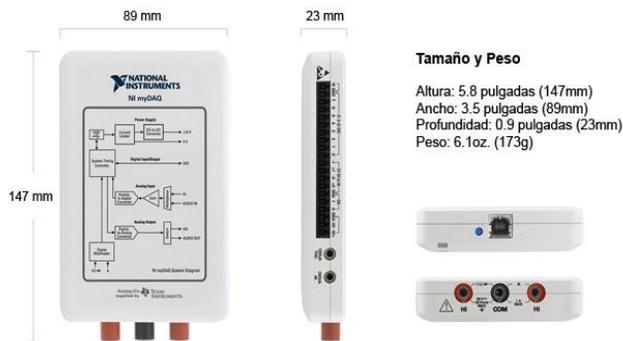
**Figura 2.70:** NI MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011) [www.ni.com/latam](http://www.ni.com/latam)

## 2.7.2. Detalles Técnicos

### 2.7.2.1. Dimensiones

Las dimensiones de la interfaz MyDAQ son las siguientes:



**Figura 2.71:** Dimensiones de la tarjeta MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011) [www.ni.com/latam](http://www.ni.com/latam)

### 2.7.2.2. Hardware interno

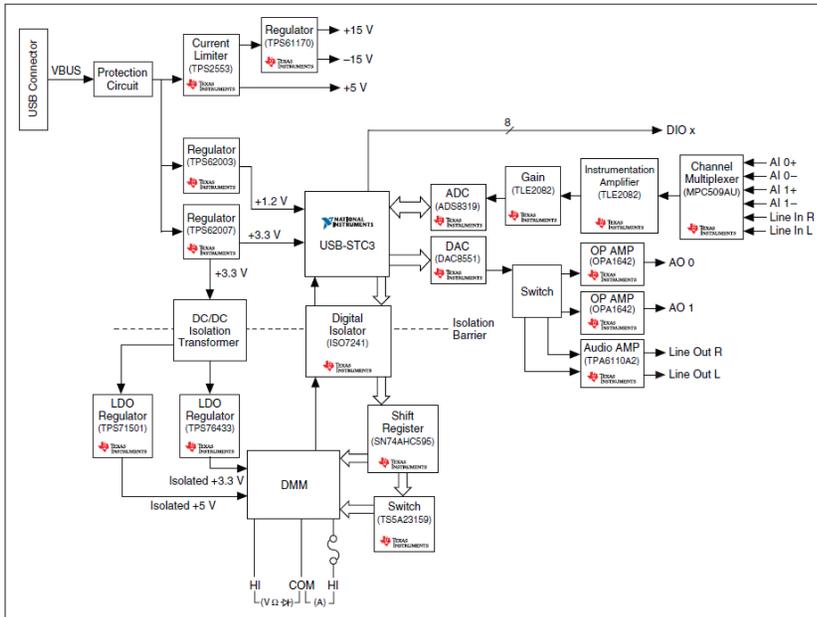
MyDAQ contiene 8 entradas o salidas digitales (DIO= Digital Input/Output), así como 2 entradas analógicas y 2 salidas analógicas.

También posee una entrada analógica especial, con su respectiva salida analógica, ambas especiales para audio mediante un Jack de 3,5mm.

Además posee 3 terminales que nos van a servir para utilizar el multímetro digital (DMM) mediante un VI que nos muestra dicho multímetro.

Internamente, la circuitería electrónica de la tarjeta está diseñada y desarrollada con circuitos integrados de Texas Instruments, los cuales brindan una mayor confianza a la misma.

En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques de la configuración interna y los subsistemas que conforman la MyDAQ.



**Figura 2.72:** Diagrama de bloques del hardware interno de la NI MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011)

Si analizamos el diagrama de bloques, nos encontramos con varios subsistemas ya analizados en la electrónica digital y analógica convencional, tales como, amplificadores operacionales, reguladores de voltaje, convertidores ADC y DAC, amplificadores de instrumentación, registros de desplazamiento y multiplexores.

Todos estos subsistemas entregan y reciben datos del controlador principal USB-STC3, desarrollado por National Instruments.

Hay que tener en cuenta una parte importante de este gráfico que nos indica que las entradas analógicas son multiplexadas, por lo tanto, hay que tener presente estas indicaciones al momento de utilizar los canales de entrada de señales analógicas.

Posterior al conector USB, se encuentra un circuito de protección adecuado para evitar daños a la interfaz.

Otra parte importante de reconocer es que MyDAQ también posee una fuente de voltaje que está limitada en corriente.

### 2.7.3. Especificaciones

#### 2.7.3.1. Entradas Analógicas

Hay 2 canales de entradas analógicas diferenciales en la MyDAQ, que pueden ser configuradas como entradas de voltaje diferencial de alta impedancia de propósito general o como entradas de audio.

La resolución del convertidor ADC es de 16 bits.

La relación máxima de muestreo es de 200 Ks/s, es decir de 200000 muestras por segundo. Las entradas analógicas no poseen filtro anti-aliasing.

En el modo de propósito general se puede obtener señales desde -10V hasta +10V. En el modo de audio, los 2 canales representan las señales de audio izquierda y derecha para un sistema estéreo.

Las entradas analógicas pueden ser medidas hasta en 200000 muestras por segundo en cada canal, lo que las hace muy útiles a la hora de adquirir formas de onda.

### 2.7.3.2. Salidas Analógicas

MyDAQ posee 2 canales de salidas analógicas referenciadas a tierra que, de la misma manera que las entradas análogas (AI), estas pueden ser configuradas como salidas de propósito general o salidas de audio.

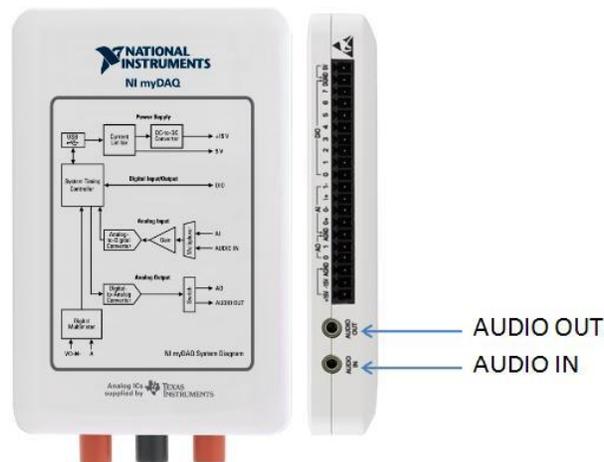
En el modo de propósito general se puede generar señales de +/- 10V. De la misma manera en el modo audio, ya que, se pueden generar señales de salida estéreo.

La resolución del convertidor Analógico-Digital DAC es de 16 bits.

Las salidas son actualizadas constantemente, ya que son muestreadas a 200000 muestras por segundo.

La impedancia de salida para las salidas análogas es de 1 Ohmio.

Las salidas análogas son perfectas para la generación de señales con el Arbitrary Waveform Generator que viene incluido con el Instruments Launcher de National Instruments.



**Figura 2.73:** Canales de Audio de la NI MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011)

### 2.7.3.3. Entradas/Salidas Digitales (DIO)

Hay un solo puerto con ocho líneas digitales que pueden ser utilizadas como entradas o salidas de propósito general. Cada línea es una interfaz de función programable (PFI), ya que, además de poder ser configuradas por software como entradas o salidas digitales o también puede ser utilizado como entrada o salida de un contador digital.

Las entradas pueden ser hasta de +5Vdc para circuitos TTL, este parámetro es importante, ya que, National Instruments no asegura la compatibilidad con dispositivos que trabajen con nivel lógico CMOS.

Las salidas son LVTTTL (Low Voltage Transistor Transistor Logic), es decir, son salidas a 3.3 Vdc.

Por convención de nombres se reconocerán a las líneas digitales como **DIO**, que significa DIGITAL INPUT OUTPUT. Así, por ejemplo, para mencionar a la línea digital 7, la reconoceremos como DIO7 y posteriormente a eso estableceremos si es un pin de salida o de entrada.

### 2.7.3.4. Contadores/Temporizadores

Si recordamos los microcontroladores PIC, ATMEGA, MOTOROLA, entre otros, se nos viene a la mente la parte de temporización y contaje.

La MyDAQ no es la excepción, ya que posee 1 contador/temporizador interno de 32 bits de resolución que dispone de 5 líneas que nos servirán para entrada o salida de contadores o temporizadores respectivamente.

La base de tiempo del reloj interno es de 100 MHz.

Además de la opción de poder ser configuradas como entradas o salidas de propósito general, DIO 0, DIO 1, DIO 2, DIO 3, DIO 4 también tienen la funcionalidad de trabajar como temporizadores o contadores.

Se puede trabajar las entradas como contador de pulsos PWM, para medir el ancho de pulso y en nuestro proyecto se lo utilizará para medir los pulsos generados por un encoder de cuadratura incremental.

NI myDAQ Signal	Programmable Function Interface (PFI)	Counter/Timer Signal	Quadrature Encoder Signal
DIO 0	PFI 0	CTR 0 SOURCE	A
DIO 1	PFI 1	CTR 0 GATE	Z
DIO 2	PFI 2	CTR 0 AUX	B
DIO 3*	PFI 3	CTR 0 OUT	—
DIO 4	PFI 4	FREQ OUT	—

**Tabla 3:** Asignación de Señales Contador/Temporizador en la NI MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011)

Si nos damos cuenta, en la tabla se presentan 3 señales correspondientes a las señales provenientes del encoder incremental que nos brinda 3 pines que son A, B y Z, dichos pines deben de conectarse correctamente a las DIO 0, DIO 2 y DIO 1 respectivamente para realizar las mediciones pertinentes.

Además se debe de saber que en algunos textos o información bibliográfica correspondiente a la MyDAQ, se refieren a las líneas digitales como PFI. Esto significa *Interfaz de Función Programables*, por sus siglas en inglés se las reconoce así.

Por lo tanto, si nos fijamos en la tabla tenemos que la DIO 3, que es la salida del contador, también se la pone como PFI 3.

Según (National Instruments, 2011), el contador presente en la MyDAQ puede ser usado para 9 diferentes tareas:

- Contar los pulsos de una entrada digital.
- Medir la frecuencia digital de una entrada.
- Medir el periodo de una señal digital de entrada.
- Medir el ancho de pulso de una entrada digital.
- Medir la separación existente entre dos pulsos digitales puestas en diferentes señales de entrada.
- Medir la posición de un motor de pasos con la señal del encoder lineal.
- Medir la posición de un motor con la señal de encoder angular.
- Generar un tren de pulsos de salida. Podemos generar un tren de pulsos PWM a través de la DIO 3.

### 2.7.3.5. Fuentes de Poder

En la interfaz MyDAQ se cuenta con 3 fuentes de poder independientes, unas de +15V y -15V, ideales para alimentar circuitos electrónicos analógicos, tales como, amplificadores operaciones, reguladores, circuitos conmutados y transistorizados, relés, entre otros.

En la fuente de +15V se tiene un voltaje máximo sin carga que es igual a +15.3V y el voltaje mínimo a plena carga es de +14V, teniendo una máxima salida de corriente de 32 ma.

Pero también existe la posibilidad de alimentar circuitos digitales TTL, ya que posee también una fuente +5V a 100mA, ideal para dispositivos lógicos.

En la siguiente imagen se puede apreciar los pines para conectores que posee la MyDAQ. Note que se están las fuentes de alimentación, los canales de entrada y salida analógicos, el puerto digital con las DIO enumeradas de la 0 a la 7, y los conectores para los canales de audio. Además se debe tomar en cuenta que posee dos tierras diferentes para la parte analógica AGND y la parte digital DGND.

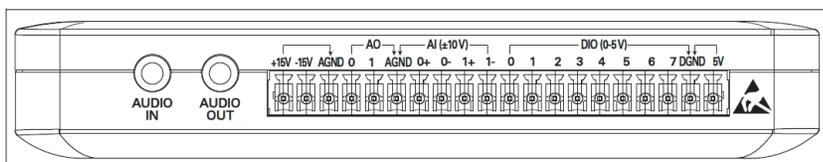


Figura 2.74: Vista lateral de la NI MyDAQ

Fuente: (National Instruments, 2011)

### 2.7.3.6. Consumo de Potencia

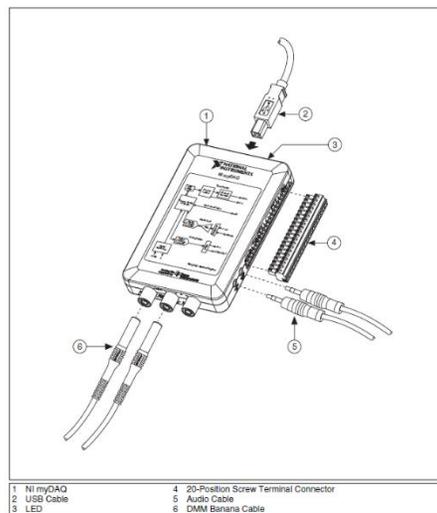
El total de consumo de potencia disponible en la MyDAQ es de 500mW, siendo esta una gran limitante a la hora de utilizar cargas que consuman mayor amperaje al que pueda proporcionar la tarjeta.

Si se desea controlar cargas que exijan un mayor consumo, lo que se debe de realizar son las interfaces de potencia mediante relés electromagnéticos o con tiristores y optoacopladores.

La gran diferencia entre las interfaces de potencia con relés contra las que son hechas mediante tiristores, es que, los relés son hechos de contactos mecánicos, por lo tanto, implican un desgaste a futuro, más aún si conmutan continuamente. Además no nos sirven para conmutar a altas frecuencias debido a su lentitud en los cambios de estado.

Caso contrario, las interfaces de potencia realizadas mediante tiristores y optoacopladores, conmutan con gran precisión en altas frecuencias y no poseen desgaste mecánico, ya que todo el proceso es puramente electrónico. La desventaja notoria en las interfaces de este tipo es que es necesario realizar un circuito, generalmente en una PCB.

Aunque existe una solución a esta desventaja y son los mencionados SSR o relés de estado sólido, de los cuales se explicará en detalle posteriormente.



**Figura 2.75:** Conexiones generales de la NI MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011)

## 2.8. Sensores utilizados en el proyecto

### 2.8.1. RTD

Resistance Temperature Detector.

Detector de temperatura resistivo, es un sensor de temperatura que basa sus medidas en la variación de resistencia de un conductor al exponerse al cambio de temperatura.



**Figura 2.76:** RTD

**Fuente:** (National Instruments, 2011)

Wikipedia, en referencia a los detectores de temperatura resistivos dice:

Al calentarse un metal habrá una mayor agitación térmica, dispersándose más los electrones y reduciéndose su velocidad media, aumentando la resistencia. A mayor temperatura, mayor agitación, y mayor resistencia. (Wikipedia)

Existe una fórmula que relaciona la resistencia con la temperatura medida y es una fórmula bastante lineal en márgenes amplios de temperatura.

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha \Delta T)$$

Donde;

$R_0$  = Resistencia a la temperatura de referencia

$\Delta T$  = Desviación de Temperatura con respecto a  $T_0$

$\alpha$  = Coeficiente de temperatura del conductor específico

Los RTDs operan bajo el principio de los cambios en la resistencia eléctrica de metales puros y se caracterizan por un cambio lineal positivo en resistencia con temperatura.

Los elementos típicos usados por los RTDs incluyen níquel (Ni) y cobre (Cu), pero platino (Pt) es, por mucho, el más común por su amplio rango de temperatura, precisión y estabilidad.

Los RTDs se construyen al enrollar un cable delgado en una turbina. Una configuración más común es el elemento de película delgada, el cual consiste en una capa muy delgada de metal puesta sobre un estrato de plástico o cerámica.

Los elementos de película delgada son más baratos y ampliamente disponibles ya que pueden alcanzar resistencias nominales más altas con menos platino. Para proteger el RTD, una cubierta de metal cubre al elemento RTD y los cables conectados a él. (National Instruments, 2012)

Posee varias ventajas con respecto a otros sensores de temperatura, ya que poseen excelente estabilidad incluso a altas temperaturas, muestran la señal más lineal con respecto a otros sensores de temperatura y es muy fácil de acondicionar la señal.

Pero también posee varias desventajas, entre las que se incluye que poseen un tiempo de respuesta lento y baja sensibilidad, además, como requieren excitación de corriente pueden generar auto calentamiento. Otra desventaja grande es el costo debido a su cuidadosa construcción.

El RTD más usado en aplicaciones industriales es el PT-100, por lo tanto se ha decidido implementarlo en este proyecto debido a sus altas prestaciones.

#### **2.8.1.1. PT-100**

El sensor debe sus iniciales PT debido a que está hecho de Platino y el número 100 nos indica que posee una resistencia de  $100\Omega$  a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable ú otro material (vaina), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal). (ARIAN, 2011)

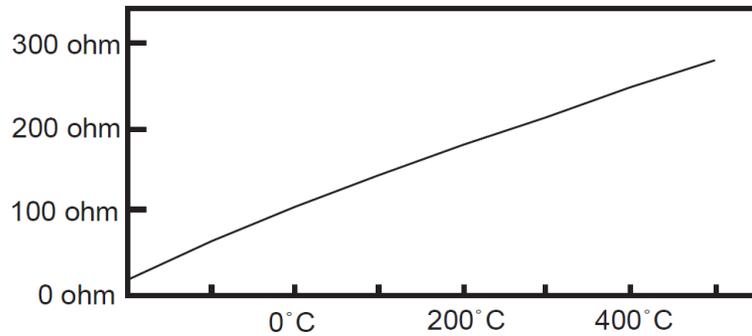
Para el montaje y conexión de la Pt-100 no se necesita otros componentes adicionales, siempre que sea hasta 30 metros en los cuales se puede instalar normalmente con cables convencionales.



Figura 2.77: **PT-100**

**Fuente:** El Autor

Ya que es un RTD, opera bajo el principio de que si se aumenta la temperatura en el platino aumentará también su resistencia eléctrica, aunque en algunos sensores este crecimiento no sea lineal mediante tablas si se puede acercar o aproximar la temperatura casi exactamente al valor real.



**Figura 2.78:** Curva Resistencia-Temperatura de un PT-100 con  $\alpha=0.00385$

**Fuente:** (ARIAN, 2011) [www.arian.cl](http://www.arian.cl)

En esta curva se puede apreciar los posibles valores de resistencia en función de la temperatura. Así vemos que a 0°C en el eje horizontal marca 100Ω en el eje vertical, que es la característica más resaltante del PT-100.

Si se tuviera un PT-1000 pues sería totalmente el mismo procedimiento de instalación y montaje, pero difiere en los cálculos, ya que, tendremos 1000 Ω a 0°C.

El coeficiente de temperatura más conocido para un RTD tipo PT-100 es  $\alpha=0,00385$ , pero existe también una tabla que relaciona los distintos tipos de coeficiente de temperatura de los sensores de platino con los diferentes estándares existentes.

El valor **A** define la sensibilidad del elemento metálico, pero normalmente es utilizado para distinguir las curvas de resistencia/temperatura de varios RTDs.

Estándar	Coeficiente de Temperatura ( $\alpha$ )	A	B	C
DIN 43760	0,003850	$3.9058 \times 10^{-3}$	$-5.8019 \times 10^{-7}$	$-4,2735 \times 10^{-12}$
American	0,003911	$3.9692 \times 10^{-3}$	$-5,8495 \times 10^{-7}$	$-4,2325 \times 10^{-12}$
ITS-90	0,003926	$3.9848 \times 10^{-3}$	$-5,870 \times 10^{-7}$	$-4 \times 10^{-12}$

**Tabla 4: Coeficientes Callendar-Van Dusen Correspondientes a RTDs Comunes**

Fuente: <http://www.ni.com/white-paper/3643/es>

Así, teniendo en cuenta estos valores podemos encontrar la resistencia del PT-100 cuando se le aplica una temperatura específica.

Por ejemplo:

Si queremos encontrar la resistencia en los terminales del RTD cuando se tiene una temperatura de 28°C medida con un PT-100 que posee un coeficiente térmico  $\alpha= 0,00385$ .

Aplicando la fórmula 1.2 se tiene;

$$R = 100\Omega \cdot (1 + 0,00385 \cdot 28^\circ\text{C})$$

$$R = 110,78 \Omega$$

Es decir, en el momento en que al RTD se le aplica los 28°C, la PT-100 nos devuelve un valor de resistencia de 110,78Ω.

Este valor es de suma importancia al momento de realizar el acondicionamiento de señales utilizando el famoso Puente de Wheatstone y el Amplificador de Instrumentación.

### 2.8.1.2. Conexión de la PT-100

Existen distintas formas de conectar un detector resistivo de temperatura PT-100. Todo difiere en el modo que se va a hacer la lectura de dicha resistencia.

Los Pt-100, según su modo de conexión, se clasifican en:

- Conexión a Dos hilos
- Conexión a Tres hilos
- Conexión a Cuatro hilos

La correcta selección de uno de estos tipos de sensores radica en la precisión con la que se quiere manejar el proceso, la lectura exacta de la resistencia efectiva que representará a la temperatura, para que esta lectura vaya de un modo más acertado y preciso hacia el dispositivo transmisor o acondicionador de señales.

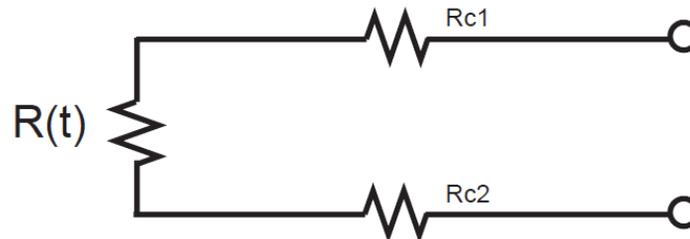
#### 2.8.1.2.1. Dos hilos

Es el modo de conexión más básico, pero también es el menos recomendado, ya que, el sensor presenta únicamente dos cables.

Cabe recordar que el PT-100 es una resistencia, que tendrá el valor de  $100\Omega$  a  $0^\circ\text{C}$ , por lo tanto, el símbolo eléctrico del sensor será simplemente una resistencia, que variará en función de la temperatura.

Por el hecho de tratarse de una resistencia se trabajan con dos terminales, pero además a esto hay que tomar en cuenta la resistencia que presenta el cable conductor.

Visto en una manera gráfica se representaría algo así:



**Figura 2.79:** Conexión a dos hilos del PT-100

**Fuente:** (ARIAN, 2011) PT-100, Operación e Instalación

Si se nota en el gráfico anterior podemos apreciar que la resistencia medida en función de la temperatura es  $R(t)$ , pero adicionalmente se presentan las resistencias existente en los conductores  $R_{c1}$  y  $R_{c2}$ .

Por lo tanto, para obtener la resistencia equivalente de este circuito tenemos que sumar todas las resistencias, debido a que están en serie.

La resistencia equivalente está dada por  $REQ = R(t) + R_{c1} + R_{c2}$ .

Esto hará que la resistencia total que irá al transmisor sea totalmente distinta a la resistencia efectiva medida en el proceso.

Utilizando el ejemplo anterior, en el cual se tenía una temperatura de  $28^\circ\text{C}$ , que a su vez la resistencia efectiva dada por el sensor resistivo marcaba  $110,78\Omega$ .

Ahora pongamos como ejemplo que se utilizan dos conductores con una resistencia total de  $2\Omega$  cada uno.

La resistencia efectiva será:  $REQ = 110,78 + 2 + 2 = 114,78 \Omega$ .

Si hacemos el proceso contrario en la fórmula y sacamos la temperatura con ese valor de resistencia.

$$114,78 = 100\Omega \cdot (1 + 0,00385 \cdot T)$$

$$T = 38,38 \text{ }^\circ\text{C}$$

Se observa que existe una diferencia de 10,38°C. Si sacamos el margen de error en esta medición en particular tenemos:

$$\%Error = \frac{110,78 - 114,78}{110,78}$$

$$\%Error = 3.6 \%$$

El porcentaje de error es amplio en relación a otros sensores, ya que, los procesos industriales actuales exigen un margen de error muy pequeño, máximo 0,5 %.

Por lo tanto, este modo de conexión es imposible usarlo en procesos críticos donde se requieren mediciones exactas y precisas, ya que puede ser totalmente peligroso falsear las medidas.

Sin embargo, este modo de conexión si se lo utiliza actualmente en procesos donde no se necesita mucha exactitud, al contrario, los sensores son utilizados como alguna referencia básica.

Además también se lo utiliza cuando las distancias entre el sensor y el transmisor o acondicionador no son largas, ya que, así disminuirá el efecto de la resistividad en los conductores, que también se puede disminuir en gran cantidad al utilizar un conductor de diámetros grandes, como por ejemplo el cable 18 AWG, que tiene una resistencia baja de 0,00193 Ω/metro.

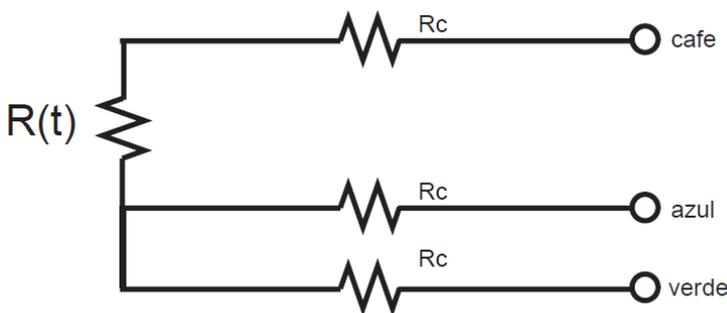
### 2.8.1.2.2. Tres hilos

Es un modo de montaje muy común y mayormente utilizado debido a que soluciona en gran parte la problemática de la resistencia en los conductores.

Tiene una única restricción que es que los cables conductores tengan la misma resistencia eléctrica para entrar al sistema de acondicionamiento.

Según establece Antonio Creus, en su libro de Instrumentación Industrial:

En el montaje de tres hilos, la sonda está conectada mediante tres hilos al Puente de Wheatstone o al acondicionador. De este modo, la medida no es afectada por la longitud de los conductores ni por la temperatura, siendo la única condición que la resistencia de los 3 hilos sea exactamente la misma. (CREUS, Instrumentación Industrial, 2006)



**Figura 2.80:** Conexión a dos hilos del PT-100

**Fuente:** (ARIAN, 2011) PT-100, Operación e Instalación

### 2.8.1.2.3. Cuatro hilos

En este modo de conexión se obtiene la mayor precisión y exactitud posible. Esto es debido a que ya no se toman en cuenta las pérdidas en los conductores.

Pero para este tipo de sensores los instrumentos de medida son más costosos.

Un esquema básico es el que sigue:

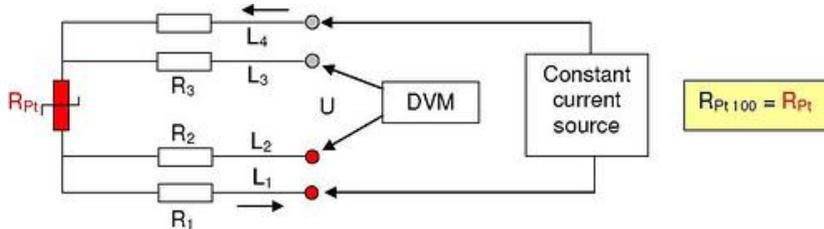


Figura 2.81: Conexión a dos hilos del PT-100

Fuente: <http://www.sciempresa.com/informaci%C3%B3n-t%C3%A9cnica/News/show/conexion-de-termorresistencias-a-2-3-y-4-hilos-75>

### 2.8.1.3. Autocalentamiento y corriente de excitación

Al tratarse de resistencias tenemos que tomar en cuenta varios parámetros importantes, como interés general, a la hora de realizar las mediciones.

Cualquiera que sea el método de conexión, se debe hacer pasar una cierta corriente  $I$  por el elemento sensor de modo de poder medir su resistencia.

Esta corriente  $I$  llamada "corriente de excitación" la suministra el instrumento lector y es del orden de 0.1 mA a 2 mA dependiendo del modelo y marca del equipo. (ARIAN, 2011).

Esto genera un problema debido a que, según el efecto Joule, la corriente de excitación aplicada a la resistencia podría generar un aumento de la temperatura o autocalentamiento que dará lugar a mediciones erróneas.

Si la PT100 es más pequeña en dimensiones, el porcentaje de error en la medición causado por la corriente de excitación será mayor debido a que habrá menor capacidad de disipación de calor.

De igual manera se verá afectado por las condiciones ambientales del medio y dependerá si el medio es o no un conductor de calor.

Según (ARIAN, 2011), con respecto al porcentaje de error en la medición dependiendo de la capacidad de disipación de calor del medio, nos dice:

Por ejemplo es mayor cuando se mide temperatura en el aire que cuando se la mide en el agua.

Valores típicos del error producido en un Pt100 són del orden de 0.5°C por miliwatt generado cuando la Pt100 esta en aire sin circular y 0.05°C con la misma Pt100 en agua.

La potencia de autocalentamiento depende del cuadrado de la corriente de excitación, luego mientras menor sea esta corriente, mucho menor será el efecto. (ARIAN, 2011).

En conclusión, un sensor será más preciso y efectivo si su corriente de excitación no es tan elevada y no genera un autocalentamiento excesivo que pueden desencadenar en mediciones erróneas.

### 2.8.2. Encoder Incremental

El encoder no es otra cosa que un sensor de velocidad muy útil y se convierte en un elemento fácil de obtener sus lecturas debido a que transforma los movimientos angulares en una serie de impulsos digitales a los que estamos acostumbrados a trabajar, tales como,

pulsos TTL, señales HTL, entre otras, que pueden ser adquiridas por un circuito electrónico común, un PLC, o en nuestro caso una DAQ o tarjeta de adquisición de datos.

Las aplicaciones principales de estos transductores están en las máquinas rotativas, máquinas de elaboración de materiales, robots, sistemas de motores y aparatos de medición y control.



**Figura 2.82:** Encoders Incrementales

**Fuente:** Datasheets de Encoders Hontko

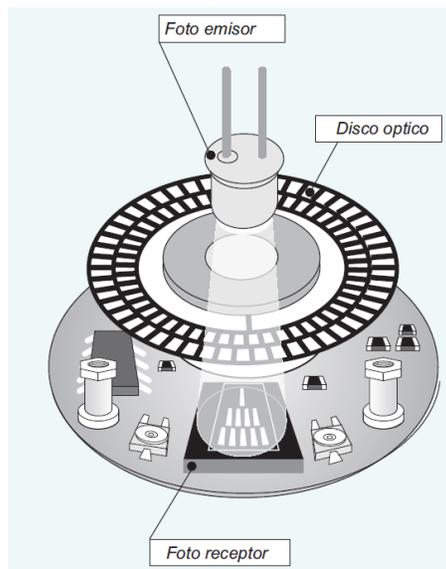
### 2.8.2.1. Principio de Funcionamiento

El principio de funcionamiento básico de todo encoder se basa en el principio de exploración fotoeléctrica.

La lectura se basa en la rotación de un disco giratorio que está graduado con unas retículas radiales con líneas opacas. Este número de retículas influirá de manera principal en la resolución del instrumento, ya que, mientras más retículas tenga se obtendrá más precisión en la lectura debido a que hay más pulsos por revolución.

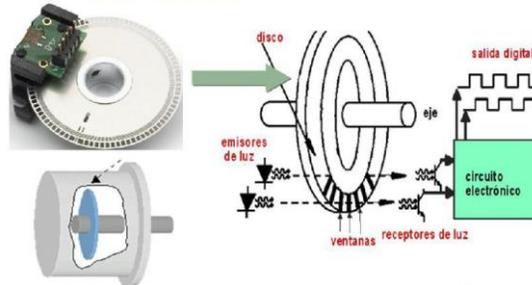
El encoder a utilizar en el presente proyecto de grado será del tipo incremental de 360 pulsos por revolución, esto quiere decir que el instrumento internamente posee una rejilla dividida 360 veces, lo que hará que el encoder genere 360 pulsos al completarse una vuelta del motor trifásico que utilizaremos.

Haciendo un cálculo rápido se nota que, en nuestro proyecto de investigación, el encoder brindará un pulso por cada grado mecánico que recorra.



**Figura 2.83:** Principio de Funcionamiento de los Encoders Incrementales

**Fuente:** Hontko



**Figura 2.84:** Principio de funcionamiento de un encoder desde su interior

**Fuente:** (BARCOJO) Sensores

### 2.8.2.2. Tipos de Salidas

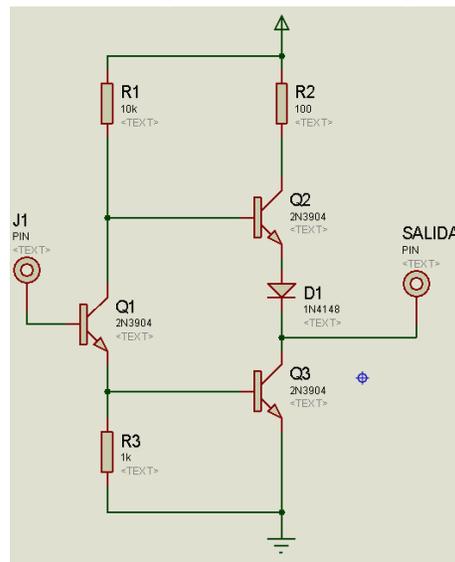
Existen diversas maneras de leer las salidas de pulsos del encoder, depende la tarjeta de adquisición de datos o el controlador a usar.

Entre los tipos de salida más comunes tenemos:

- Salida TOTEM POLE
- Salida NPN OPEN COLLECTOR
- Salida LINE DRIVER
- Salida VOLTAJE FIJO

#### 2.8.2.2.1. TOTEM POLE

Este tipo de salida es muy común en circuitos TTL y la base de su funcionamiento es el corte y saturación de transistores, que darán lugar a 1L o 0L, según sea el caso.



**Figura 2.85:** Salidas Tótem Pole TTL

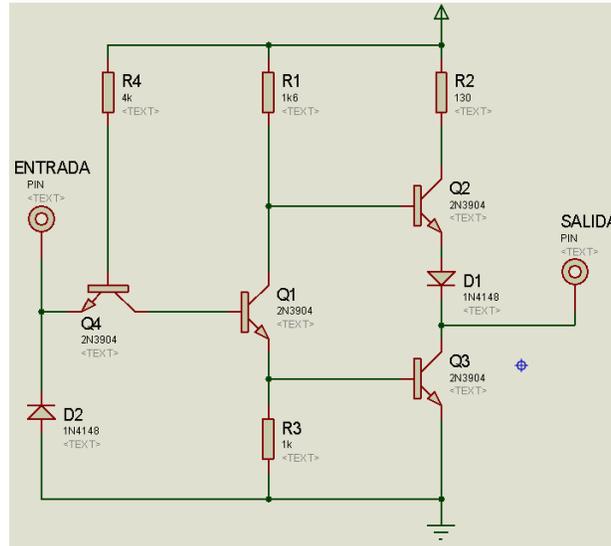
**Fuente:** El Autor

En la figura anterior, se presentaba la circuitería básica para una salida Tótem Pole, en la cual el objetivo es conmutar el transistor T2 para efectuar cambios de voltaje a la salida.

Si la señal es alta, el transistor T2 inyectará una corriente de base necesaria para saturar el transistor T4, lo que dará lugar a un 1L o “uno lógico”, que será de +Vcc, en este caso particular saldrá 5v a la salida, y es lógico si se trata de circuitos TTL.

Analizando el caso contrario, si la señal es baja y conmuta el transistor T3 hará que el transistor T4 entre en estado de corte, lo que dará lugar a un 0L o “cero lógico” que es básicamente 0 voltios.

Otra forma de ver el circuito básico de las salidas tótem pole se presenta en la siguiente figura, además de la circuitería básica se ponen los valores típicos de los componentes principales.



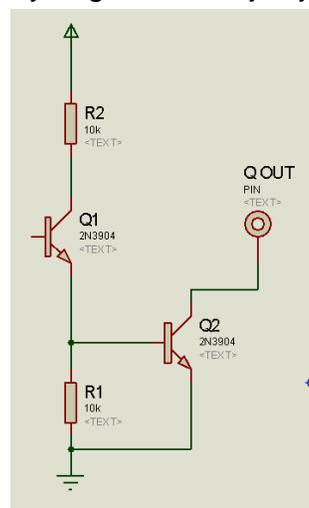
**Figura 2.86:** Salidas Tótem Pole TTL

Fuente: El Autor

### 2.8.2.2.2. NPN COLECTOR ABIERTO

Las salidas de colector abierto son ampliamente utilizadas en todos los ámbitos, ya sean, en electrónica digital, analógica, diseño de circuitos combinatoriales, hasta en circuitos digitales avanzados y en este caso en encoders industriales.

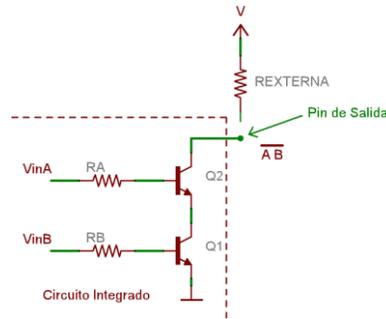
Su amplio uso es debido a que no brinda un voltaje fijo TTL, además de la limitación de corriente que tiene la configuración Tótem Pole, sino que puede ser adaptado a varias aplicaciones según sus necesidades y según el voltaje fijo que necesite.



**Figura 2.87:** Salidas de Colector Abierto NPN

Fuente: El Autor

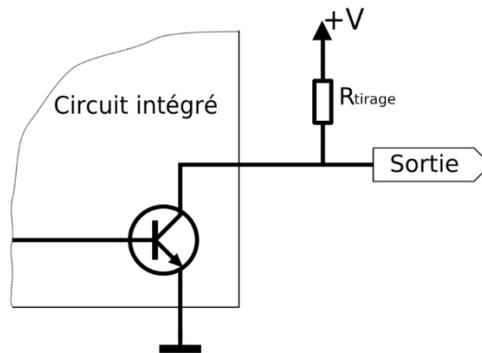
Como vemos en el gráfico, la gran ventaja de utilizar salidas de colector abierto es la flexibilidad que nos brinda en el diseño con distintas tecnologías como TTL, CMOS, HTL, entre otras, y también con distintos tipos de alimentación, ya que, el circuito previo lo único que se hace es saturar el transistor y este conmutará para conducir entre colector y emisor.



**Figura 2.88:** Salidas Colector Abierto

**Fuente:** Electrónica Unicrom

Tendremos que poner una resistencia limitadora al voltaje de salida que deseemos, dicha resistencia es la tan conocida resistencia de Pull-up, que polarizará un voltaje constante o VCC cuando no haya conmutado el transistor y enviará GND cuando conmute el mismo, ya que, el emisor está conectado a tierra.



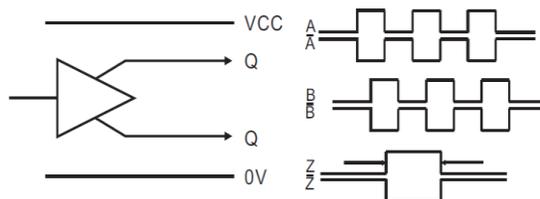
**Figura 2.89:** Salidas Colector Abierto

**Fuente:** Electrónica Unicrom

### 2.8.2.2.3. SALIDA LINE DRIVER

La salida LINE DRIVER trata de obtener varias salidas debido a que trabaja con valores lógicos TTL y las mismas salidas con lógica negada.

Por ejemplo, tenemos la salida A, B y Z, y a su vez se presentan los mismos pulsos de voltaje pero con lógica negada.

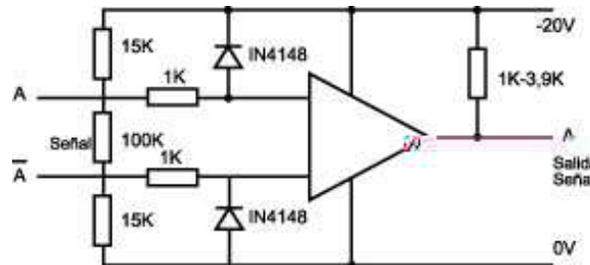


**Figura 2.90:** Salidas Line Driver

**Fuente:** Encoders Hanyoung

La mayor razón de importancia de tener las salidas negadas es por el simple hecho de que la mayoría de los encoders son instalados en instalaciones industriales, lo que hace que sus salidas sean vulnerables a interferencias electromagnéticas, por lo que se dispone de salidas negadas para entornos donde hay ruido o también donde se necesiten largas longitudes de cable.

Al existir interferencias y ruido electromagnético la aplicación está más destinada al error en la medición, para lo cual se proponen soluciones técnicas, puramente electrónicas y muy eficientes para contrarrestar dichos errores.



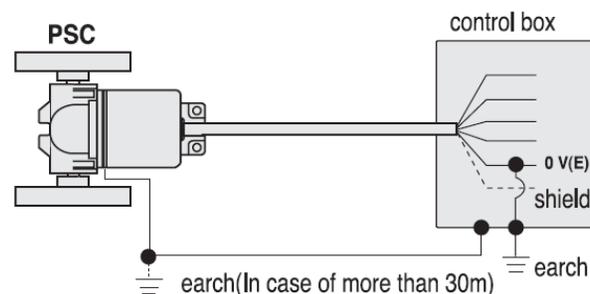
**Figura 2.91:** Circuito acoplador de señal para reducir interferencias

**Fuente:** Encoders Hanyoung

Como se nota en el circuito que se trata de obtener una sola salida del Opamp a partir de 2 entradas con lógica negada, esto hará una sola salida libre de interferencias, ya que, el opamp se lo configura como un Schmitt-Trigger o disparador de Schmitt que trabajará mediante comparador por histéresis, ignorando todos los cambios de voltaje que sean menor que la histéresis configurada.

Consiguiendo así una mayor inmunidad al ruido y posibilitándonos de trabajar a frecuencias de hasta 50 KHz sin ningún tipo de problema.

Además del circuito acondicionador de señal mostrado para reducir interferencias también es recomendable aterrizarlo a la carcasa del equipo o de la aplicación, tal como muestra la siguiente figura.



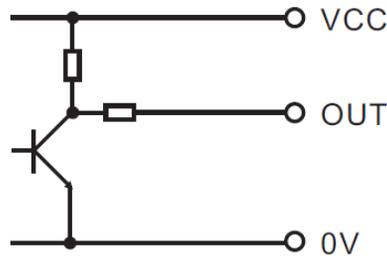
**Figura 2.92:** Conexión del encoder a tierra.

**Fuente:** Encoders Hanyoung

#### 2.8.2.2.4. SALIDA DE VOLTAJE FIJO

En esta forma de salida se brinda un voltaje fijo de salida que dependerá del fabricante del encoder.

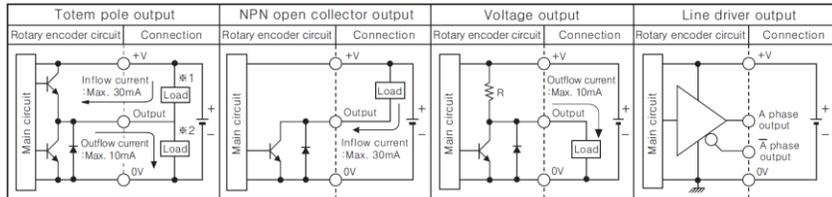
Generalmente están dados en voltajes TTL o HTL.



**Figura 2.93:** Salidas de Voltaje fijo

**Fuente:** Encoders Hanyoung

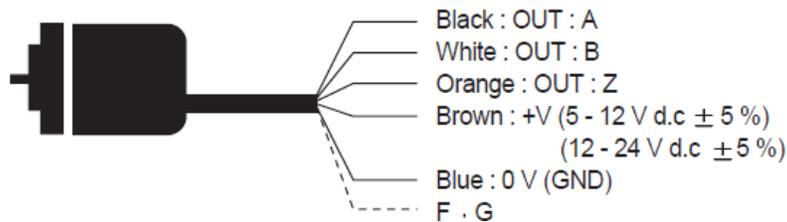
De forma resumida se presenta un diagrama donde están presentes todas las formas de salida que tienen los encoders, particularmente de la marca Autronics.



**Figura 2.94:** Diversos tipos de salidas

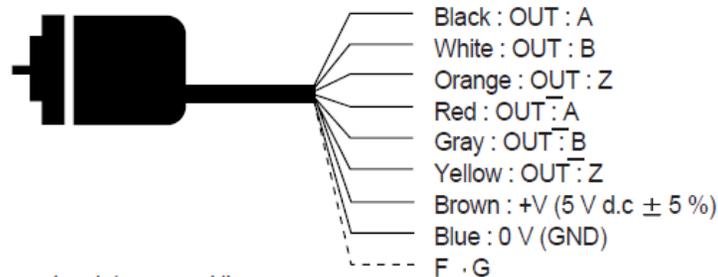
**Fuente:** Datasheets de Encoders Autronics

En forma representativa el cableado de cualquier encoder incremental, ya sea, salidas de voltaje fijo, colector abierto y tótem pole, se tienen 3 cables principales que son A, B y Z, además los cables de alimentación y el cable de tierra.



**Figura 2.95:** Pines de Conexión para las salidas de voltaje fijo, NPN Colector Abierto, y Tótem Pole de los encoders

**Fuente:** Encoders Autronics



**Figura 2.96:** Pines de Conexión para la salida LINE DRIVER de los encoders

**Fuente:** Encoders Autronics

### 2.8.2.3. Formas de Onda

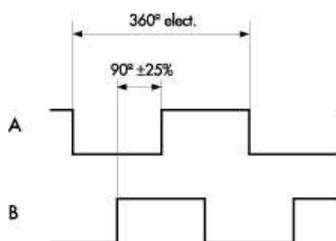
Las formas de onda de un encoder incremental es la parte más importante de su hoja de especificaciones técnicas, ya que, mediante estas gráficas podremos tomar las mediciones adecuadas de los pulsos, además medir el desfase entre una onda y otra, lo que hará que se pueda detectar el sentido de giro de dicha motor o carga.

Como se notó anteriormente, el encoder incremental nos brinda 3 salidas que son: A, B y Z.

La salida A es la que indicará la suma de los pulsos por revolución. Es la salida de mayor importancia, ya que, es la responsable de enviar los pulsos al controlador que tendrá la lógica adecuada para convertir estos pulsos en unidades de revoluciones por minuto y poder ser mostradas al operador.

La salida B es un complemento de gran importancia también en aplicaciones donde, además de la velocidad del motor, también se requiere el sentido de giro del mismo, ya que, el canal B está desfasado  $90^\circ$  eléctricos con respecto al canal A.

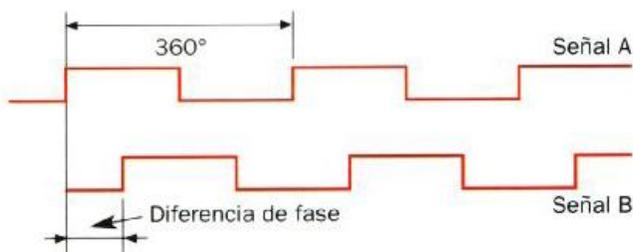
En forma gráfica resultaría así:



**Figura 2.97:** Formas de Onda de Encoders Bidireccionales con dos salidas, A y B

**Fuente:** Encoders Autonics

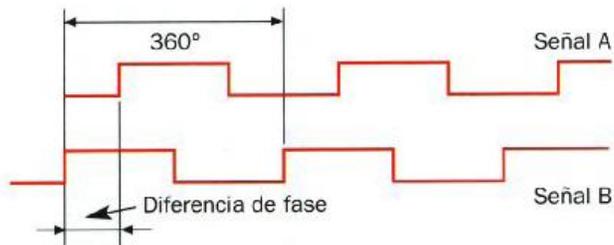
Analizando el desfase entre una onda y otra, tenemos que, si el motor o carga acoplada al encoder está girando en contra de las manecillas del reloj, entonces decimos que el canal A está con un adelanto de fase de  $90^\circ$  eléctricos con respecto al canal B.



**Figura 2.98:** Adelanto de fase de A con respecto a B en un encoder incremental

**Fuente:** Datasheets Encoders Hanyoung

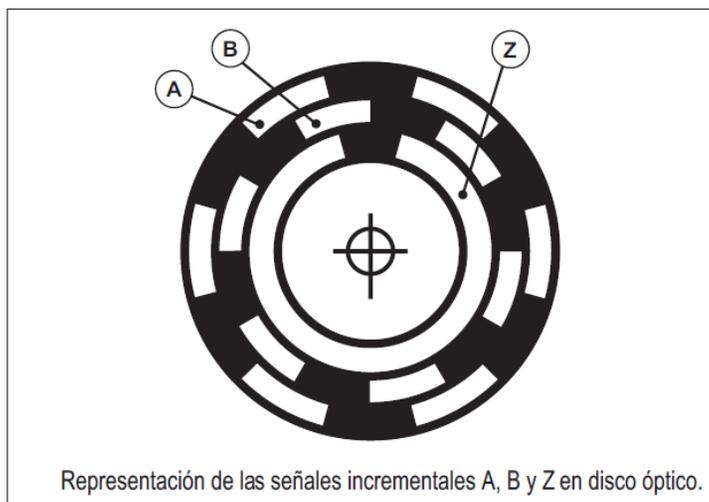
Caso contrario, si el motor o carga acoplada al encoder está girando a favor de las manecillas del reloj, entonces el canal B presentará un adelanto de fase de  $90^\circ$  eléctricos con respecto al canal A.



**Figura 2.99:** Atraso de fase de A con respecto a B en un encoder incremental

**Fuente:** Datasheets Encoders Hanyoung

Esto nos sirve para determinar el sentido de giro del motor, y tiene lógica debido a que si se analiza la construcción interna del encoder, se tiene que está compuesta por rejillas desfasadas entre sí y se activará el canal o la salida de acuerdo a la rejilla que se ilumine primero internamente.



**Figura 2.100:** Distribución de rejillas internas del encoder

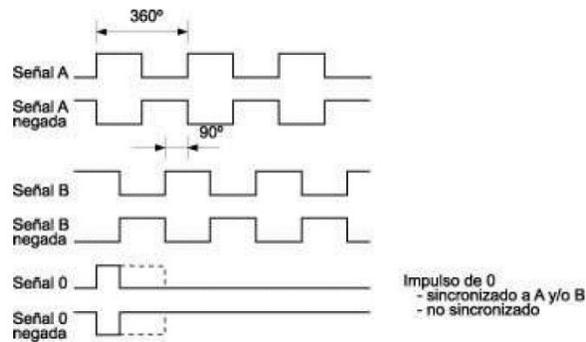
**Fuente:** (ELTRA) Encoders Incrementales

Pero en algunos encoders, y particularmente el equipo utilizado en este trabajo de grado, posee una tercera salida de referencia Z.

Esta salida proporciona un impulso por cada vuelta del eje, lo que nos puede servir para determinar una referencia o posición.

Dicha señal necesita ser sincronizada con uno de los canales, A, B o a ambos canales, o incluso puede no estar sincronizada.

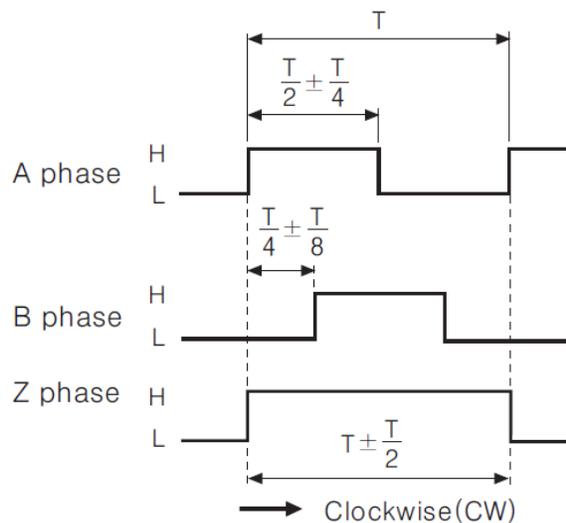
En algunos textos se la conoce como salida de indexado, ya que, esta salida me puede indicar el número de vueltas dada, así como la fracción de vuelta.



**Figura 2.101:** Formas de onda de un encoder incremental

**Fuente:** Encoders Hanyoung

Visto de otra manera, la salida Z proporciona la posición absoluta del eje del encoder, presentada en forma de impulso cuadrado con fase y amplitud sincronizada con alguno de los canales, ya sea A o B.



**Figura 2.102:** Formas de onda de un encoder incremental

**Fuente:** Datasheets Encoders Autonics

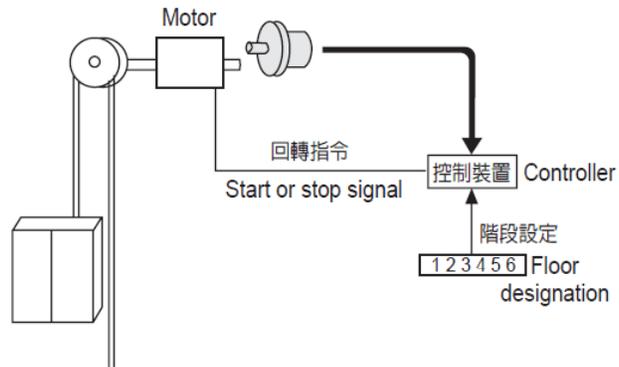
### 2.8.2.4. Aplicaciones Básicas de los encoders

Los encoders son ampliamente usados en el campo industrial, como ya se mencionó anteriormente, pero no solo tienen aplicaciones de medición de velocidad, sino que, ahora ya conociendo las formas de onda que nos brinda un encoder, sabremos que también puede ser aplicado para medir posición absoluta, y si se hace un correcto tratado de las señales y conversiones aritméticas, nos puede dar incluso la posición lineal que recorre una banda transportadora.

Entre las aplicaciones más variadas, según (BARCOJO):

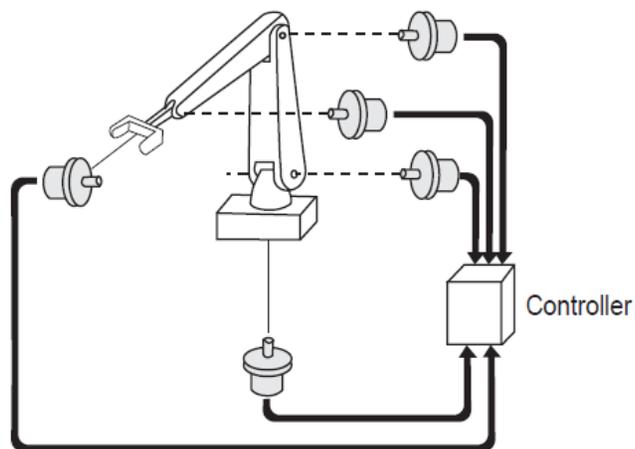
- Dispositivo de control de puertas
- Robótica
- Máquinas de lente demoledor
- Plotter
- Soldadura ultrasónica

- Maquinaria convertidora
- Máquinas de ensamblaje
- Máquinas etiquetadoras
- Indicación x/y
- Dispositivos de análisis
- Máquinas taladradoras
- Máquinas mezcladoras
- Equipo médico



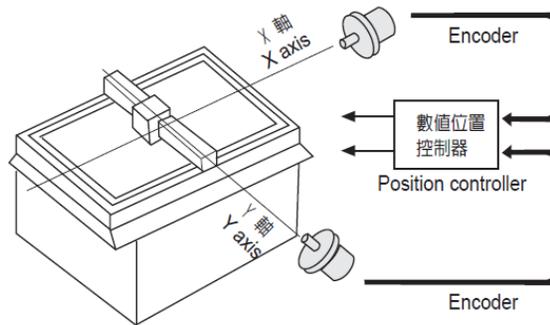
**Figura 2.103:** Aplicación de los encoders 1 (Ascensor)

**Fuente:** Encoders Hontko



**Figura 2.104:** Aplicación de los encoders 2 (Robótica Industrial)

**Fuente:** Encoders Hontko



**Figura 2.105:** Aplicación de los encoders 3 (Controlador de Posición)

**Fuente:** Encoders Hontko

Realmente su función en este proyecto de grado será la de convertirse en un transductor de retroalimentación necesario para realizar el control automático, ya que, nos servirá para medir la velocidad que realmente está en curso, valor necesario para que el controlador compare con la velocidad de setpoint deseada y aplicar las respectivas acciones de control automáticamente, tal como se explicó en la primera sección.

### 2.8.3. Fotorresistencias

Las fotorresistencias o fotoceldas no son nada más que resistencias variables que varían dicha magnitud en función de la intensidad de luz a la cual sea sometida su superficie sensitiva.

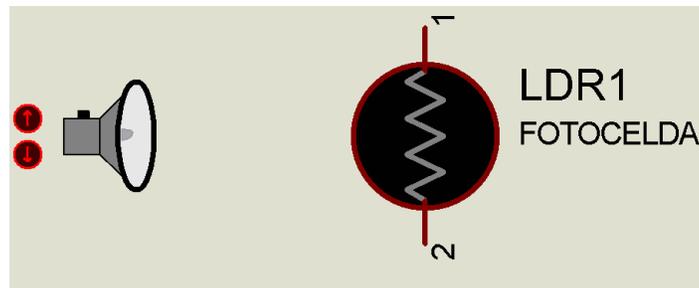
Su funcionamiento se basa en el efecto fotoeléctrico. Una fotocelda está hecha de un semiconductor de alta resistencia como el sulfuro de cadmio, CdS. Si la luz que incide en el dispositivo es de alta frecuencia, los fotones son absorbidos por las elasticidades del semiconductor dando a los electrones la suficiente energía para saltar la banda de conducción. El electrón libre que resulta, y su hueco asociado, conducen la electricidad, de tal modo que disminuye la resistencia. Los valores típicos varían entre 1 MΩ, o más, en la oscuridad y 100 Ω con luz brillante. (Wikipedia)



**Figura 2.106:** Fotorresistencia

**Fuente:** WIKIPEDIA, <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotorresistencia>

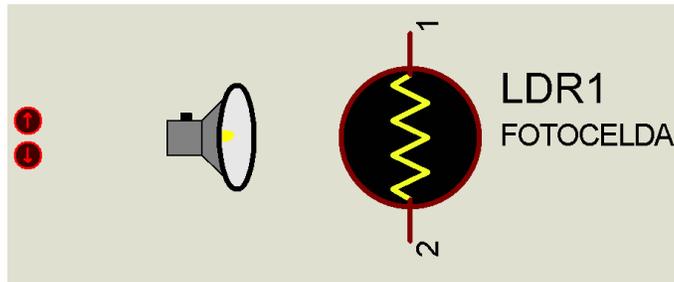
Si hay ausencia de luz o mucha oscuridad, entonces la resistencia interna de la fotocelda aumentará.



**Figura 2.107:** Ausencia de luz en una fotorresistencia

**Fuente:** El Autor

Al contrario, si hay una cierta cantidad de luz incidente sobre el componente, la resistencia interna disminuirá notablemente.



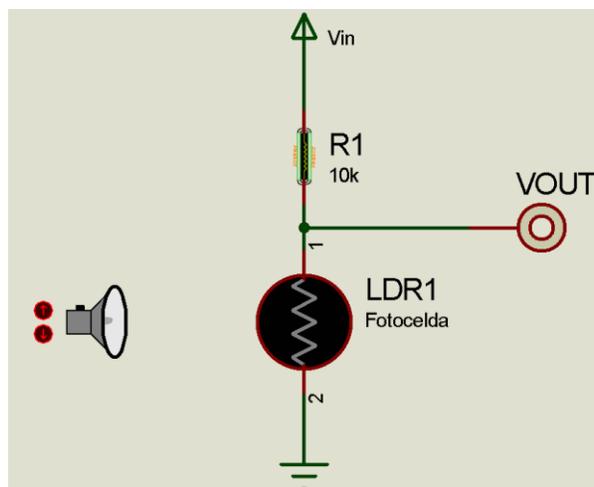
**Figura 2.108:** Presencia de luz en una fotorresistencia

**Fuente:** El Autor

Pero existe una pequeña problemática para trabajar con las fotoceldas.

Al ser una resistencia variable nos brinda una salida en valores resistivos, es decir en ohmios, lo que nos obliga a hacer un circuito acondicionador de señal para poder obtener la variación de resistencia en unidades de voltaje.

Al utilizar las fotorresistencias en serie con otro resistor, mediante el teorema del divisor de tensión, podemos obtener la forma más sencilla y muy eficaz para poder detectar la variación de resistencia en voltios, los mismos que serán adecuados para poder enviarlos a la tarjeta de control.



**Figura 2.109:** Divisor de tensión con LDR

**Fuente:** El Autor

En el gráfico anterior podemos darnos cuenta que al realizar la conexión de esa manera podremos detectar las variaciones de resistencia que tendrá la LDR en función de la intensidad de luz que se le aplique pero la tendremos en unidades de voltios. Esto es debido a que ingresamos un voltaje de entrada que se repartirá entre la resistencia y la LDR. Si medimos el voltaje de la fotocelda observaremos una variación proporcional a la variación de luz. Este voltaje lo llamaremos  $V_{out}$  o Voltaje de Salida.

Dicho voltaje aumentará si la resistencia interna de la LDR aumenta.

De la misma manera, este voltaje disminuirá si la resistencia de la LDR disminuye.

Dicho de otra forma se tiene que:

Si hay mayor intensidad de luz sobre la superficie sensitiva de la fotocelda, el voltaje de salida  $V_{out}$  disminuirá.

Caso contrario, si hay menor intensidad de luz incidente sobre la LDR, el voltaje de salida  $V_{out}$  aumentará notablemente, hasta casi el voltaje de entrada  $V_{in}$ , dependiendo del valor del resistor  $R_1$  que coloquemos.

Este es un parámetro muy importante debido a que, la caída de tensión presente en la fotocelda dependerá de la resistencia  $R_1$ , ya que el teorema del divisor de tensión no es más que una simple Ley de Ohm para dos resistores.

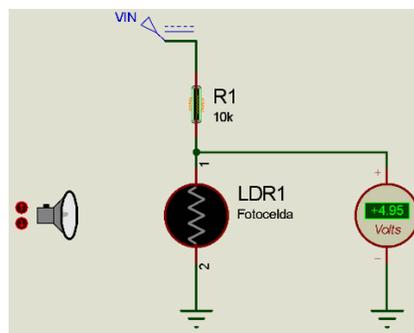
De esta manera, el voltaje de salida  $V_{out}$  nos quedará así:

$$V_{out} = \frac{R_{LDR}}{R_{LDR} + R_1}$$

De esta manera se presenta el siguiente ejemplo para comprender mejor el uso de las LDR y de que manera se la incluirá en el proyecto.

Se tiene el mismo circuito del gráfico anterior, pero esta vez está simulado para ver los valores reales.

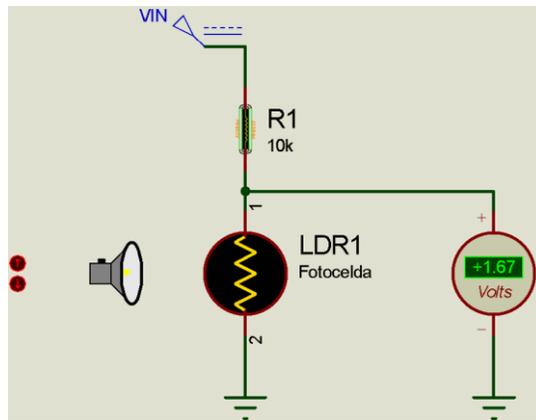
Asumiendo un voltaje de entrada  $V_{IN} = 5v$ , se tiene que no hay luz incidente sobre la fotocelda, por lo tanto su resistencia interna aumentará notablemente, lo que nos da mayor resistencia. Al aplicar la fórmula anterior notamos que el voltaje de salida  $V_{out}$  será casi igual al voltaje de entrada  $V_{in}$ , pero nunca será igual debido a que existirá una pequeña caída de tensión en  $R_1$ .



**Figura 2.110:** Divisor de tensión con LDR excitada con poca intensidad de luz

**Fuente:** El Autor

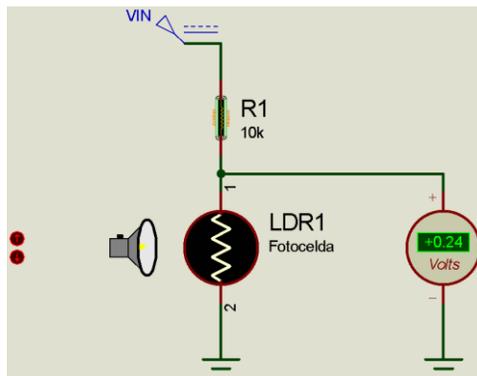
Si vamos aumentando la intensidad de luz sobre la superficie sensitiva de la LDR, su voltaje irá disminuyendo considerablemente.



**Figura 2.111:** Divisor de tensión con LDR excitada con media intensidad de luz

**Fuente:** El Autor

Al llegar a la máxima iluminación incidente sobre la fotocelda tendremos que el voltaje llega a ser casi nulo, teniendo casi toda la caída de tensión de la fuente sobre la R1.



**Figura 2.112:** Divisor de tensión con LDR excitada con mayor intensidad de luz

**Fuente:** El Autor

#### 2.8.4. Micrófono

El micrófono es un transductor. Esto se debe a que convierte la señal sonora en señales de voltaje eléctrico para que dichas señales sean amplificadas y acondicionadas para que puedan ser procesadas por el sistema de control.

Un transductor es un componente o dispositivo que convierte una señal en otra de diferente naturaleza, por esta razón es que decimos que el micrófono es un transductor.



**Figura 2.113:** Micrófono con Jack de 3.5 mm

**Fuente:** [www.secami.com](http://www.secami.com)

## CAPÍTULO III: CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA ELECTRÓNICA

### 3. CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA ELECTRÓNICA

#### 3.1. Antecedentes

En este apartado detallaremos el proceso para la construcción de la planta electrónica, tomando en cuenta todos los componentes necesarios para realizar un buen sistema de control.

Además de presentar todos los esquemas necesarios para la conexión del banco.

A continuación se presenta un esquema simplificado de cada parte de la planta electrónica para comprender mejor su conexión, y posteriormente a esto se presenta un esquema completo donde está, en detalle, todo el proyecto.

#### 3.2. Sistema de Control de Velocidad

Para esto realizar este sistema necesitaremos un motor, para poder controlar su velocidad, un encoder para medir la misma que también será modificada desde un variador de frecuencia, y un sistema de freno manual.

El variador de frecuencia necesita un autotransformador, así que también se realiza el cálculo de un autotransformador.

El motor a usar en este proyecto tiene los siguientes datos de placa:

<b>Motor</b>	Trifásico
<b>Marca</b>	ABB
<b>Voltaje Nominal</b>	230 Vac
<b>Corriente Nominal</b>	1.8 Amp
<b>Potencia Nominal</b>	0.5 Hp
<b>Velocidad Nominal</b>	1615 rpm
<b>Factor de Potencia</b>	0.8

**Tabla 5:** Características del Motor Trifásico a usar en el proyecto.

**Fuente:** El Autor

Para medir esta velocidad se usará un encoder absoluto de 360 pulsos por revolución. Es decir, por cada vuelta, proporcionará 360 pulsos de colector abierto, al que añadiremos una resistencia de pull-up, como se acotó en la introducción teórica.

Además se ha añadido un sistema de frenado manual, que nos es más que una pieza mecánica, la cual va girando con un tornillo que hará el sistema de frenado mediante una zapata acoplada al rotor del motor.

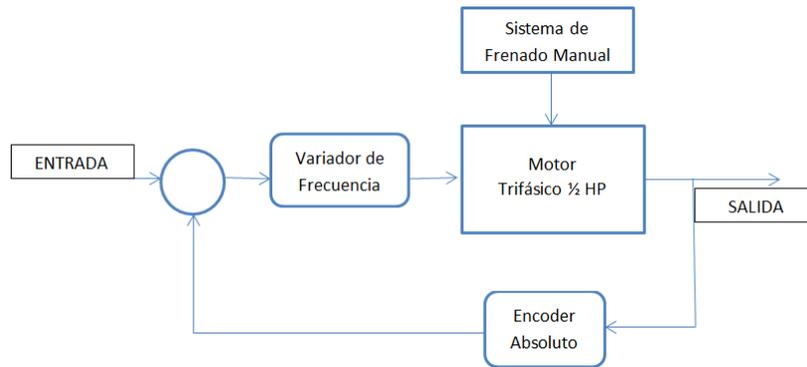
Para comandar la velocidad se ha dispuesto de un variador de frecuencia Sinamics G110, el mismo que recibirá una señal de 0 a 10 Vdc provenientes de la MyDAQ, y este hará el control necesario para que el motor funcione adecuadamente.

El variador de frecuencia es el centro de todo el control de velocidad y por lo tanto hay que prestarle la atención adecuada, ya que, se han añadido varias funcionalidades para mejorar el sistema y explotar al máximo sus capacidades.

Hemos añadido una tarjeta electrónica de interfaz de potencia que hará el control respectivo para la marcha y paro del motor.

Este variador de frecuencia funciona a 220/240 Vac, pero como en el tablero solo se dispone de 120 Vac, hemos de realizar los cálculos necesarios para diseñar un autotransformador de la capacidad de corriente que vaya a entregar dicho variador.

El diagrama de bloques del sistema de velocidad está como sigue:



**Figura 3.1:** Diagrama de Bloques del Sistema de Control de Velocidad

**Fuente:** El Autor

### Principio de Funcionamiento

La tarjeta de National Instruments NI MyDAQ proporcionará una salida analógica que varía desde 0vdc a 10vdc, la misma señal es la que se inyectará en el variador de frecuencia. Para esto hay que configurar la variante análoga de dicho variador.

El punto más importante en el proceso y que puede derivar en un error en el proyecto es que hay que *puentear las tierras*.

Esto se debe a que son dos señales totalmente diferentes, por lo tanto, están referenciadas en diferente forma, lo que hace que al puentear las tierras o GND de los diferentes sistemas, estén todas referenciadas al mismo sitio y pueda haber una excelente compatibilidad en el desarrollo del proceso.

A su vez, el encoder medirá la velocidad del motor en forma de pulsos, lo que hacer que contemos con la realimentación necesaria para realizar un control más exhaustivo.

El encoder provee de 3 señales que son: A, B, y Z.

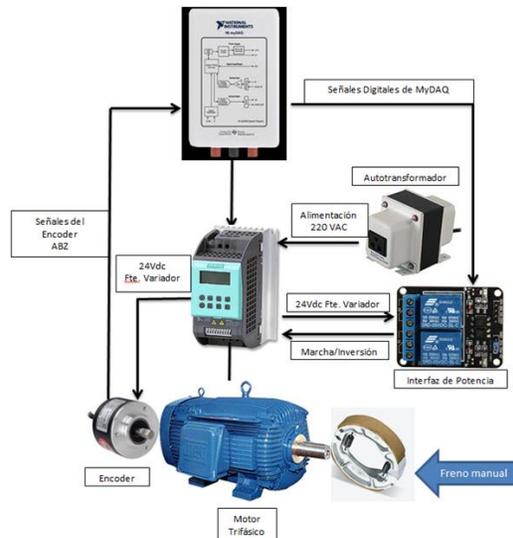
Estas señales del encoder utilizado en el proyecto son de colector abierto, por lo que habrá que colocar una resistencia de pull-up, para obtener correctamente sus pulsos.

Estos pulsos serán transmitidos a la tarjeta DAQ, la misma que, mediante software, decidirá que acción realizar y en que momento adecuado.

Para alimentar correctamente el variador de frecuencia, se ha decidido implementar en el proyecto, un Autotransformador, el mismo que convertirá la señal de 120 VAC en una señal de 240 VAC, necesarias para poder operar el variador.

Se optó por este procedimiento por la razón de facilitar la alimentación al tener una sola conexión de 120 VAC a la planta electrónica, esto facilitará mucho la movilidad del banco y se lo podrá operar en cualquier toma de corriente.

Con esto como introducción, tenemos el siguiente diagrama de conexiones.



**Figura 3.2:** Diagrama Esquemático del Sistema de Control de Velocidad

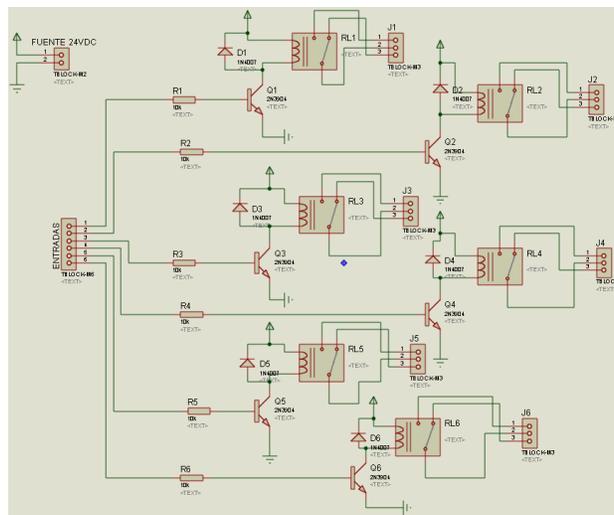
**Fuente:** El Autor

Hay que tener en cuenta un asunto muy importante en el proyecto.

Las tarjetas DAQ de National Instruments dan una salida LVTTTL de 3.3 VDC y la capacidad de corriente que puede proporcionar es de aproximadamente 30 ma.

Esta corriente no es nada suficiente para alimentar una carga común, por ejemplo un foco, un parlante, un actuador, entre otros. Pero la misma corriente será suficiente para saturar un transistor, en configuración emisor común, que conmutará un relé o una carga deseada. Esto es la gran conocida interfaz de potencia, que será ampliamente utilizada en este proyecto.

Dicha interfaz de potencia se la utilizará para los bornes de entradas digitales del variador, para conmutar el relé de estado sólido y para conmutar los relés y contactores del banco.



**Figura 3.3:** Circuito de Interfaz de Potencia para el control de la marcha e inversión de giro en el variador

**Fuente:** El Autor

Se puede apreciar que en este circuito, que en cada canal se busca saturar un transistor, en este caso el 2N3904, que tendrá muy buenas características de conmutación a altas frecuencia y un factor de amplificación moderado.

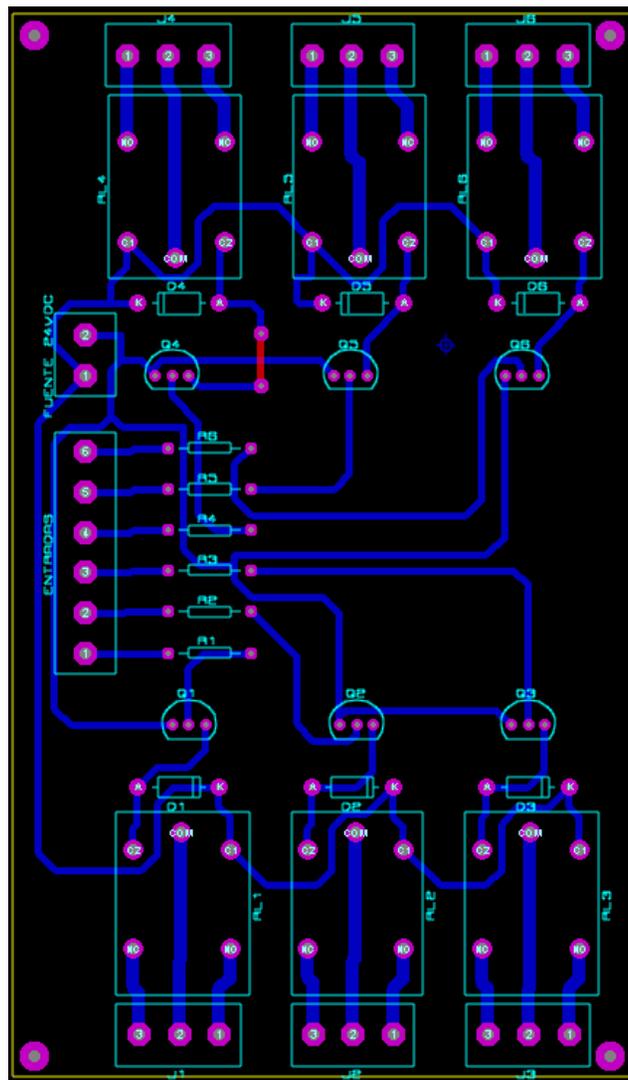
Al saturar la base de este transistor, podemos decir que ha entrado en estado de conducción entre colector y emisor. Esto hará polarizar la bobina del relé electromecánico y este a su vez, por acción de campos electromagnéticos, moverá los contactos internos y hará posible que se cierre el circuito entre el terminal Común y el Normalmente Abierto del Relé.

Nótese que estamos alimentando el circuito con la fuente de poder de +24VDC de la planta electrónica. Las referencias de estas fuentes deben estar conectadas entre sí para que se pueda saturar el transistor.

Si analizamos el circuito un poco más, nos daremos cuenta de que dependerá de que salida de la MyDAQ activo para realizar una acción predeterminada.

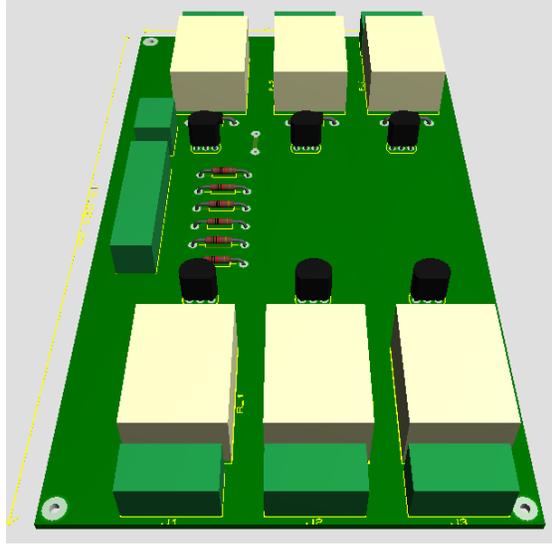
Por ejemplo aquí conectaremos DIO2 y DIO3 a las entradas de la tarjeta, se saturarán los transistores y el relé cerrará el contacto entre el positivo de la fuente y las respectivas salidas del circuito, estas salidas serán conectadas a los terminales 3 y 4 del variador.

Una vez analizado el circuito, procedemos a diseñar nuestro diagrama PCB para tarjeta de circuito impreso y también podremos obtener una vista en 3D muy aproximada a su forma real.



**Figura 3.4:** Diseño PCB de la interfaz de potencia

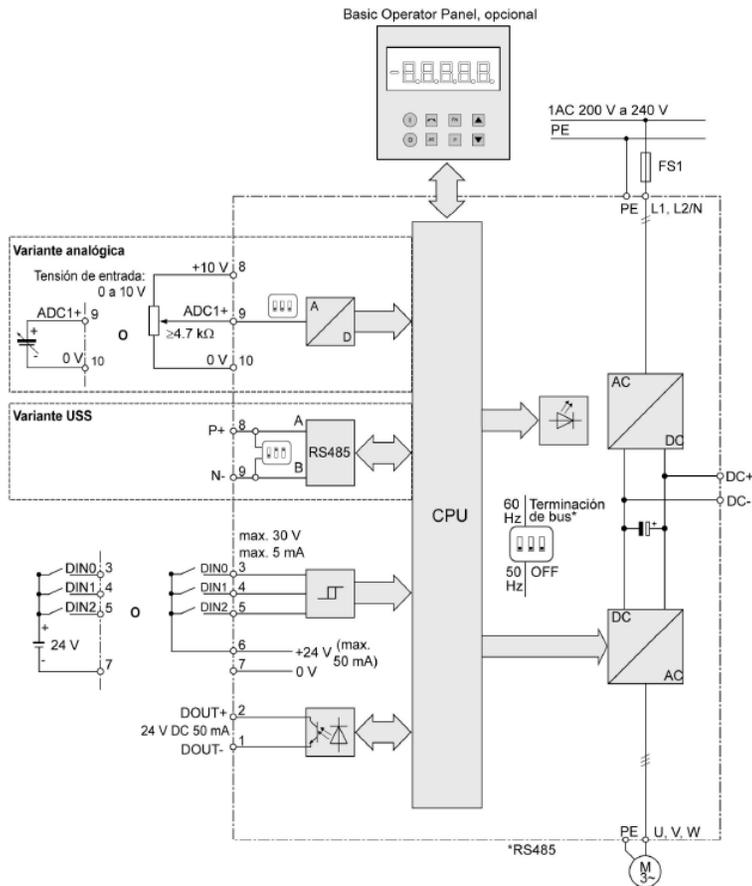
**Fuente:** El Autor



**Figura 3.5:** Vista Tridimensional de la interfaz de potencia para el variador

**Fuente:** El Autor

Analicemos el diagrama de bloque del Variador de frecuencia:



**Figura 3.6:** Diagrama de Bloques del Variador de Frecuencia

**Fuente:** (SIEMENS, Sinamics G110, Julio, 2005)

De los terminales que nos provee el variador de frecuencia, necesarios para la configuración, los que utilizaremos serán los terminales 3, 4, 6, 7, 9 y 10 y tendrán las siguientes funciones:

3	Marcha y Paro del Motor
4	Inversión de Giro del Motor
6	+24 VDC
7	GND
9	Entrada Variante Analógica
10	GND

**Tabla 6:** Pines del Variador de Frecuencia.

**Fuente:** El Autor

Si se conmuta entre el terminal 6 y el 3 podremos tener el arranque del motor.

Si se conmuta entre el terminal 6 y el 4 podremos tener la inversión de giro del motor. Para esto, el variador de frecuencia tuvo que haber sido previamente configurado para realizar dicha acción. La configuración adecuada se logra variando los parámetros necesarios según indique la hoja de especificaciones técnicas.

Los terminales 6 y 7 alimentarán el encoder y el circuito de interfaz de potencia que estamos utilizando, ya que, nos brinda una señal de +24VDC.

Los terminales 9 y 10 del variador, serán los predeterminados para ingresar la consigna analógica proveniente de la salida analógica de la MyDAQ.

Además de las conexiones del variador, hay que tener en cuenta que estaremos utilizando una encoder con salidas de colector abierto, las mismas que necesitan una resistencia de pull-up para su correcto funcionamiento.

Entonces se conectará una resistencia a +5VDC, para los terminales DIO 0 y DIO 1 de la MyDAQ donde se conecta el Encoder.

### **3.3. Sistema de Control de Temperatura**

En este apartado especial analizaremos la respuesta de los procesos ante los diferentes sistemas de control On/Off que existen, ya que, son los más fáciles de utilizar y por lo tanto, nos familiarizaremos mejor a la hora de diseñar sistemas de control.

Para esto tendremos una carga a controlar, en este caso la planta será una resistencia eléctrica, mediremos su temperatura con un Pt-100 y haremos el acondicionamiento de la señal con un convertidor de temperatura.

Todos estos componentes tienen una forma particular de funcionamiento, pero esto ya se trató en el primer capítulo.

La resistencia eléctrica a utilizar en el proyecto será del tipo tubular en forma de "M". Esta resistencia está construida de forma que comienza a calentar al momento de alimentarla con 120 VAC/60 Hz, como ya se mencionó en capítulos anteriores.

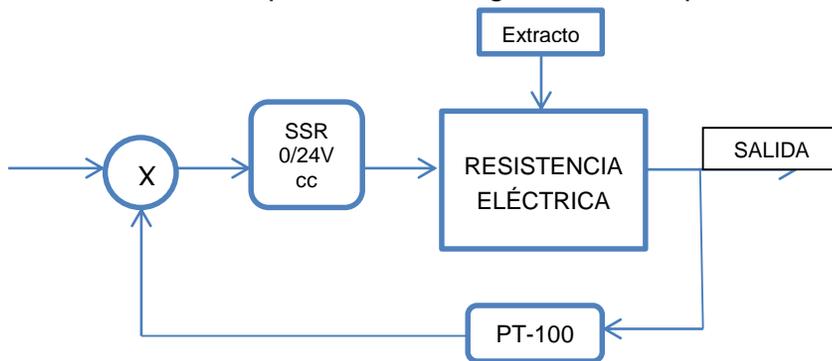
Para el control de dicha resistencia utilizaremos un Relé de Estado Sólido SSR, que será controlado desde una salida digital de la MyDAQ, pasando antes por una muy pequeña interfaz de potencia para suplir de corriente necesaria al SSR.

Dentro del chasis de la resistencia eléctrica tendremos un sensor de temperatura PT-100, que variará su valor resistivo de acuerdo a la razón de cambio de la temperatura.

Esta señal resistiva pasará a un convertidor, muy completo, de temperatura, que acondicionará la señal de salida de la Pt-100 y entregará una salida, ya sea en forma de voltaje o corriente, en este caso tomaremos una señal análoga de 0-10 VDC que se la enviará a la MyDAQ para realizar el control respectivo.

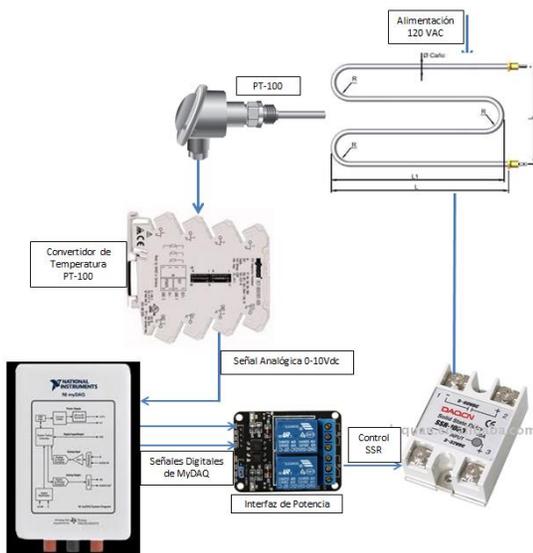
Adicional a todo esto, también se ha colocado un extractor de aire en el chasis de la resistencia para crear disturbios en la planta.

A continuación se presenta un diagrama de bloques del sistema de control de temperatura.



**Figura 3.7:** Diagrama de Bloques del Sistema de Control de Temperatura

**Fuente:** El Autor



**Figura 3.8:** Diagrama Esquemático del Sistema de Control de Temperatura

**Fuente:** El Autor

Para controlar el SSR y un posible extractor también utilizamos la misma interfaz de potencia de 6 relés, en las entradas 3 y 4 de la tarjeta podremos conectar dichas señales de control:

Esto hará que podamos controlar el encendido de la resistencia eléctrica y el de un blower extractor de aire desde las salidas digitales de la MyDAQ.

En el caso de la resistencia eléctrica, por cuestiones de diseño en la ingeniería de la aplicación, se ha decidido utilizar un relé de estado sólido para poder tener mayores velocidades de conmutación, mayor precisión en la conmutación y evitar los desgastes mecánicos al que nos tiene acostumbrado el relé convencional cuando trabaja a mayor rapidez.

El relé de estado sólido se activará cuando se sature la base del transistor señalado. Al saturar la base de este semiconductor queda establecido que habrá una conmutación entre los terminales del colector-emisor de dicho componente, lo que hará que se polarice el circuito interno del SSR para así poder lograr cerrar los contactos de la salida de dicho relé. Esto es un efecto de opto acoplamiento, típico del SSR.

El relé de estado sólido que utilizaremos es el siguiente:

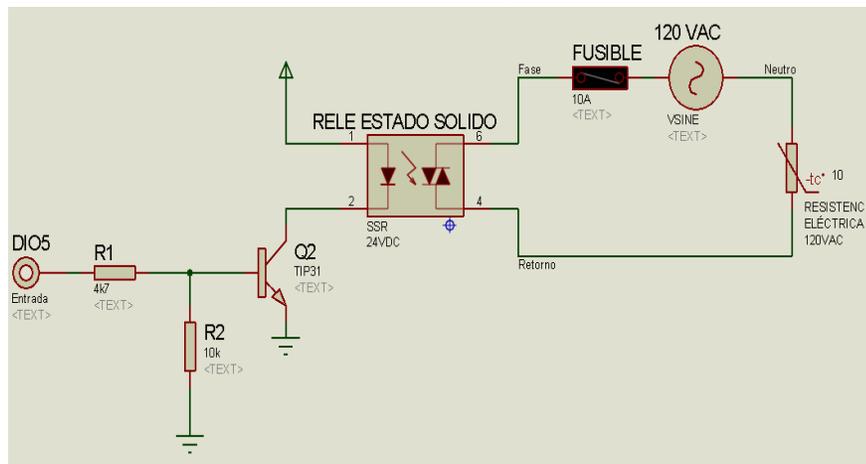


**Figura 3.9:** Relé de Estado Sólido

**Fuente:** Alibaba.com

Este dispositivo se alimenta con un voltaje de 24Vdc para polarizar el diodo interno, el mismo que iluminará un fototriac que hará la conmutación respectiva para que se alimente la resistencia eléctrica.

El circuito simplificado de un SSR queda así:

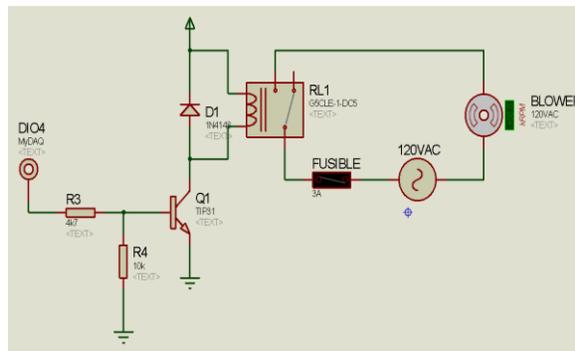


**Figura 3.10:** Circuito de Encendido de la Resistencia Calorífica

**Fuente:** El Autor

Desde la MyDAQ envió la señal correspondiente para que el relé de estado solido se encargue de conmutar un contacto que manipulará el encendido/apagado de la resistencia eléctrica.

Para el extractor de aire, que será el encargado de creas disturbios en la planta, también lo controlaremos mediante una interfaz de potencia, pero este si va a ser normalmente comandado por los contactos de un relé electromecánico.



**Figura 3.11:** Circuito de interfaz para controlar el blower

**Fuente:** El Autor

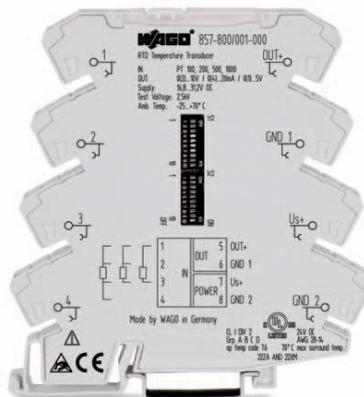
La parte central de este sistema de control de temperatura es la medición de la misma. Para esto se ha conseguido un convertidor de temperatura de la marca WAGO, el mismo que obtendrá la señal de la Pt-100, de 3 o 4 hilos, y la convertirá en una señal analógica, de corriente o voltaje según deseemos.

Además, los rangos de salida de estas señales analógicas son variables, así como el span de medición, que serán modificados según unos Dip-Switch. Esta configuración se la verá en el datasheet del componente.



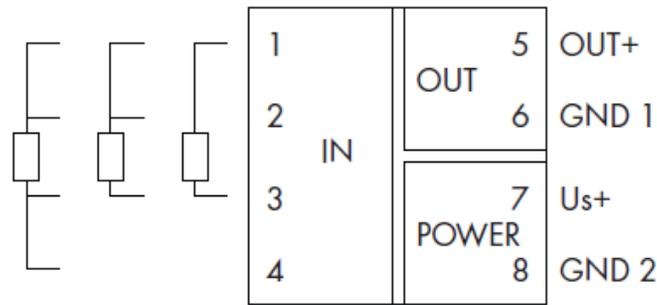
**Figura 3.12:** Convertidor de Temperatura

**Fuente:** El Autor



**Figura 3.13:** Convertidor de Temperatura WAGO

**Fuente:** Datasheet del componente

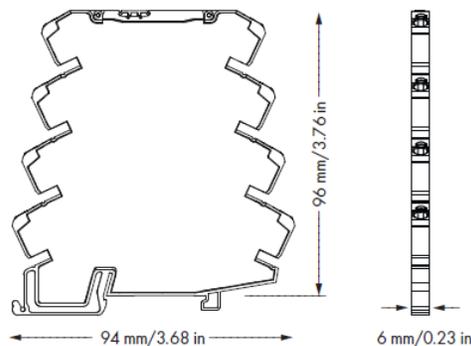


**Figura 3.14:** Conexión del Convertidor de Temperatura WAGO

**Fuente:** Datasheet del componente

Es un convertidor de temperatura muy eficaz y netamente industrial, por lo cual será de gran ayuda en nuestras prácticas académicas con carácter industrial.

Una de las características más relevantes es que no ocupa mucho espacio debido a que es muy delgado en relación a otros controladores.



**Figura 3.15:** Dimensiones del Convertidor de Temperatura WAGO

**Fuente:** Datasheet del componente

Si apreciamos la imagen del transmisor de temperatura podemos ver que tiene 2 grupos de DipSwitchs, los cuales se editan de acuerdo a nuestro proyecto en particular.

A continuación se presentan las tablas de configuración de los dipswitchs.

### Primer Grupo

En el primer grupo de dipswitchs seleccionamos las características generales del sistema de control de temperatura.



### Primer Grupo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X							X	X	

### Segundo Grupo

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	X	X	X	X		X		X	

### 3.4. Sistema de Control de Fase

Para el control de iluminación, o mencionado técnicamente como control por ángulo de fase, vamos a utilizar conocimientos electrónicos puros para desarrollar dicha prueba.

La idea es regular la iluminación de un bombillo y realizar el control respectivo desde Labview usando la interfaz MyDAQ.

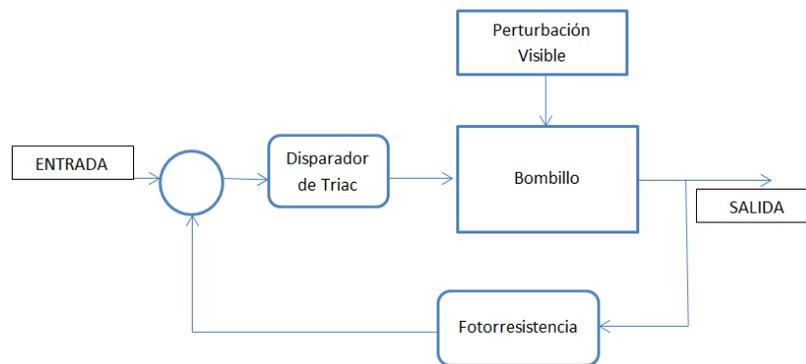
Regularémos la intensidad de luz del bombillo mediante un sencillo programa ejecutado por un microcontrolador PIC 16f886, programado en MikroBasic, este programa recibirá una señal análoga, la misma que será convertida a digital para su correcto procesamiento.

Dicha señal regulará el ángulo de disparo para el tiristor que hará que conduzca la corriente y se regule la intensidad de luz según la onda enviada.

Para esto tendremos una tarjeta electrónica con el microcontrolador y otra tarjeta de una detección de cruce por cero, necesaria para el control, y disparador de Triac para cargas resistivas.

La retroalimentación será llevada a cabo mediante una fotorresistencia, que, si se la incluye en un divisor de tensión adecuado, podremos obtener una señal de 0 a 5VDC para realizar el respectivo control.

El diagrama de bloques del sistema de control de iluminación es:



**Figura 3.16:** Diagrama de Bloques del Control de Fase

**Fuente:** El Autor

Para este proyecto vamos a tener en claro varias partes:

- Detector de cruce por cero
- Disparador de Triac
- Tarjeta de Control

### 3.4.1. Detector de Cruce por Cero

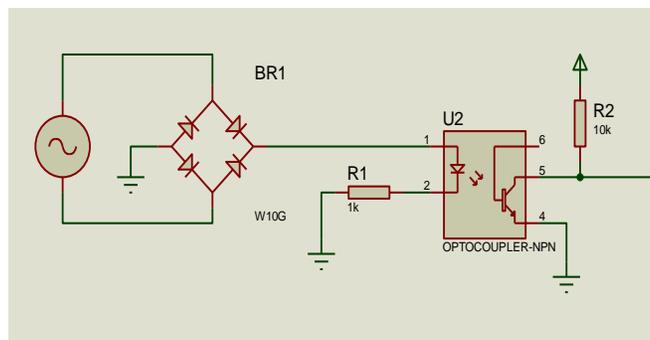
La parte de detección de cruce por cero (**zero crossing**), es muy sencilla y tiene bastante importancia en el control de fase, a tal punto de que sin este procedimiento sería imposible realizar un control de fase fino.

Como su nombre lo indica, se trata de detectar el paso por cero de la señal alterna, es decir cuando cambia de polaridad.

Esta señal la enviaremos al microcontrolador que lo detectará como interrupción y este realizará el disparo del Triac adecuado para que el control de fase se muy fino y preciso.

Pero parece un reto difícil obtener una señal de pulso positivo cada vez que una onda alterna pasa por cero, pero es algo muy sencillo, aplicando conceptos de electrónica básica.

En el siguiente circuito veremos la parte básica de una detección de cruce por cero, para esto utilizaremos dispositivos convencionales como un Puente de Graetz, un opto acoplador y resistencias.

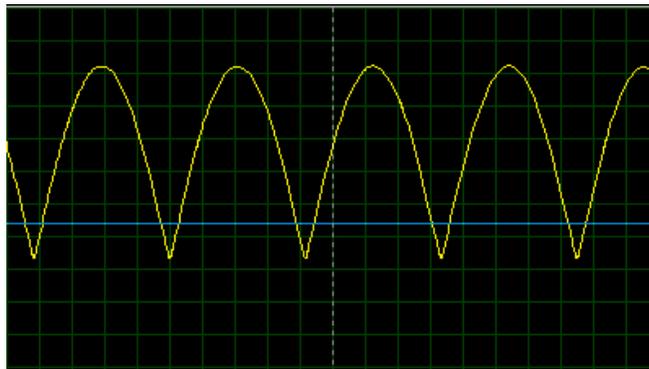


**Figura 3.17:** Circuito de Detección de Cruce por Cero

**Fuente:** El Autor

Si analizamos el circuito, tendremos la sorpresa de que se trataba de un diseño muy sencillo y bastante práctico e útil a la hora de realizar la detección del *zero crossing*.

La señal alterna de la red entra al puente rectificador de onda completa, el que hará que las partes negativas de la onda de senoidal se hagan positivas.



**Figura 3.18:** Formas de Onda de la Rectificación de Onda

**Fuente:** El Autor

Si se aprecia en el circuito, el opto acoplador posee un diodo interno que estará saturando y cortando al opto transistor que viene incluido en el dispositivo.

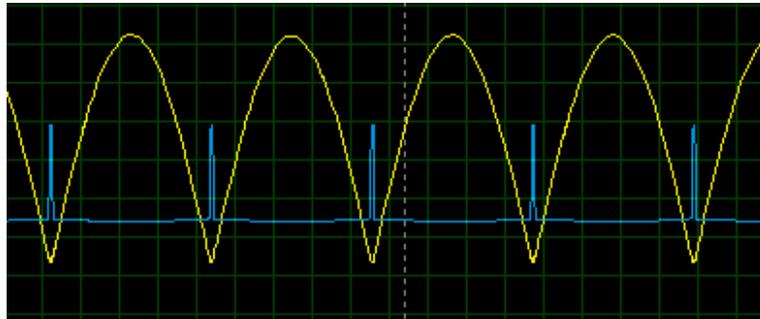
Es decir, si la señal alterna está por arriba de los 0.7v, se iluminará dicho diodo y a su vez este saturará al opto transistor y en el colector obtendremos un cero lógico o 0L, ya que existirá conmutación entre colector y emisor.

Caso contrario, cuando la señal decae de los 0.7v, el diodo interno no iluminará, lo que hará que el fototransistor no se sature y ya no conduzca el valor lógico de GND a la salida sino que se queda con el valor lógico de +VCC que tiene gracias a la resistencia de Pull-up presente en el circuito.

Una vez obtenida esta señal, ya hemos detectado el cruce por cero de la onda alterna.

Recordemos que la onda alterna que entra al circuito debe haber pasado previamente por un puente de diodos o rectificador de onda completa para recortar la parte negativa de la señal y dejar una onda puramente positiva y de mayor periodo.

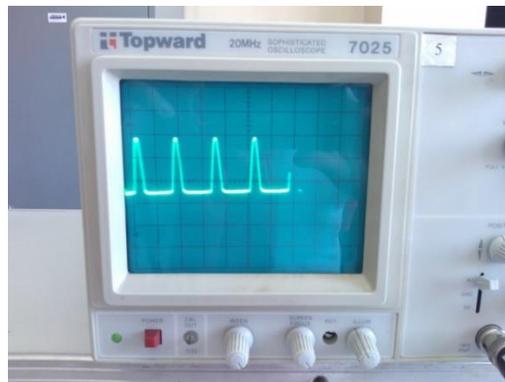
Al simular este circuito tenemos una serie de pulsos similares a estos:



**Figura 3.19:** Forma de Onda de la Detección de Cruce por Cero

**Fuente:** El Autor

Al implementar el circuito en una tarjeta PCB y visualizar la onda con un osciloscopio real nos queda así:

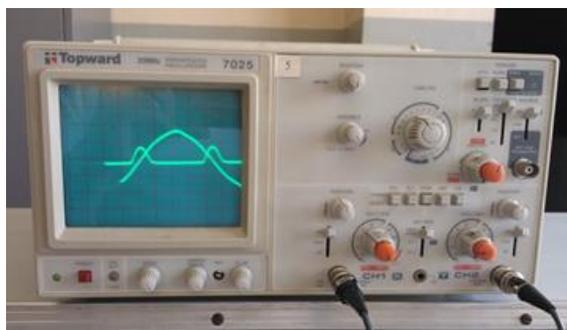


**Figura 3.20:** Detección de Cruce por Cero en osciloscopio real

**Fuente:** El Autor

Al comparar con la onda de entrada y la onda del cruce por cero podemos ver más claramente nuestro objetivo.

Note claramente que al momento de pasar por cero, o en el momento en que la onda pasa de positiva a negativa, se efectúan unos pulsos indicando que ha habido un cruce por cero.

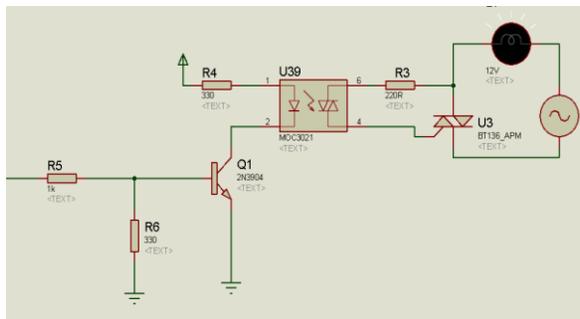


**Figura 3.21:** Detección de Cruce por Cero y Rectificación de Onda en osciloscopio real

**Fuente:** El Autor

### 3.4.2. Disparador de Triac

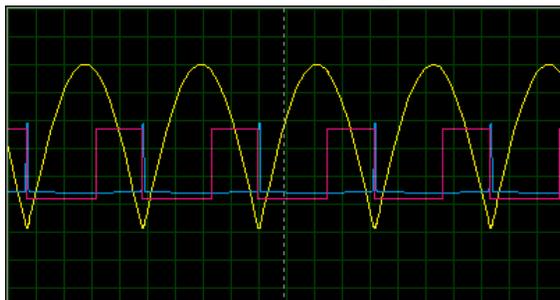
El circuito disparador de Triac es el final, este viene dado por los pulsos del microcontrolador. Los pulsos serán enviados a un transistor que se saturará y dejará conducir el cero lógico y polarizará el diodo interno del opto acoplador MOC3021. Este componente es la parte esencial del Relé de Estado Sólido. Adicional a esto se conecta un Triac que controlará la conducción de la corriente alterna a través de la carga.



**Figura 3.22:** Circuito Disparador de Triac

**Fuente:** El Autor

En la siguiente gráfica se aprecia el retardo que tiene el disparo del Triac. Este retardo dependerá de la señal analógica a ingresar. Además, debe notarse que la orden de conducción del Triac la da el microcontrolador debido a su lógica y programación interna, que mediante interrupciones y temporizadores se elegirá la mejor opción para dicho control.



**Figura 3.23:** Simulación de Disparador de Triac

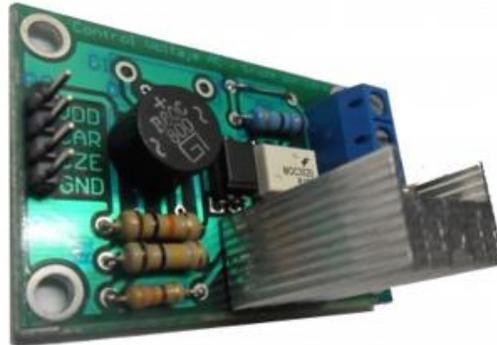
**Fuente:** El Autor

Un punto importante a considerar es que estos circuitos no efectuarán ningún control automático, sino que simplemente brindarán la dimerización adecuada que el controlador indique, en este caso el control PID de iluminación lo hará la tarjeta MyDAQ, que mediante

entradas y salidas analógicas, y un efectivo control robusto interno, encontrará la salida adecuada para las respuestas del sistema a varios parámetros.

En el proyecto se utilizará una tarjeta comercial de Control de Carga Resistiva AC.

Esta tarjeta tiene 2 terminales de control, 2 de alimentación a 5Vdc y dos borneras finales, una para la carga resistiva y otra para la alimentación de dicha carga.



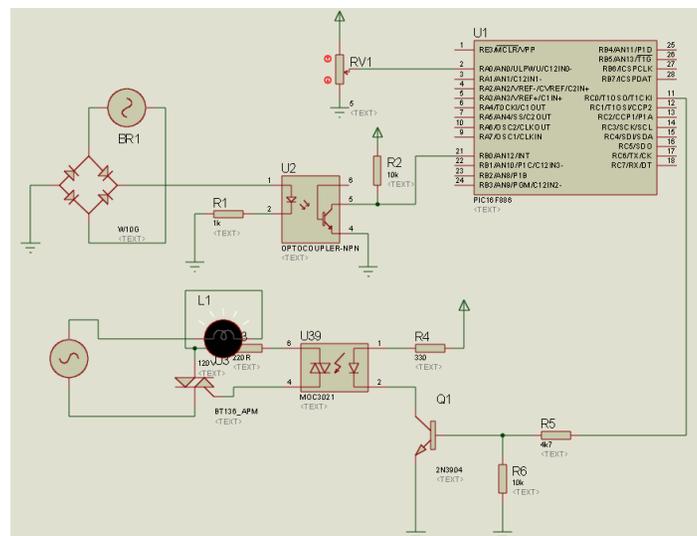
**Figura 3.24:** Control de Carga AC Resistiva

Fuente: Ideas & Tecnología

### 3.4.3. Tarjeta de Control

Una vez efectuada la detección del *zero crossing*, podemos enviarlo a un microcontrolador como una interrupción especial, esto es, para que el micro detenga la tarea que esté haciendo en ese momento y comience a ejecutar otra tarea específica. En nuestro caso mandaremos a leer la interrupción y cada vez que envía ese pulso, mandaremos a contar un temporizador, que hará el retardo para el control por ángulo de fase.

En el circuito se apreciará que tenemos una parte de detección de cruce por cero y esa salida va al puerto B0 como una interrupción. El microcontrolador detectará esa interrupción y por software le enviaremos a activar el conteo de un temporizador interno que ejecutará otra interrupción cuando se haya desbordado el tiempo preestablecido. Cuando se haya cumplido el tiempo, resultante de la conversión ADC, se enviará un pulso para activar el Triac.



**Figura 3.25:** Tarjeta de Control Final para el Control de Fase

Fuente: El Autor

Para este procedimiento se utilizará una tarjeta de control comercial, ya realizada y que presenta muchas mejores prestaciones.

La tarjeta a utilizar se llama *M.E. I&T04*, se polariza a 9Vdc y ya tiene todos los pines en forma de espadines para su control.



**Figura 3.26:** Módulo de Entrenamiento I&T 04

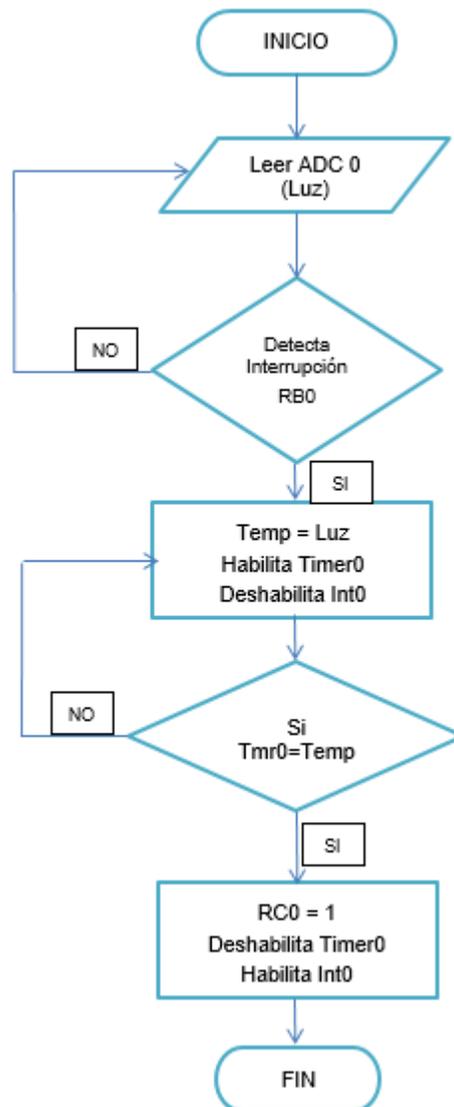
**Fuente:** Ideas & Tecnología

Esta tarjeta, acoplada correctamente a la tarjeta de control Ac de carga resistiva, añadiéndole una buena programación, nos brinda un control de fase muy eficaz.

Para ayudarnos con la programación, es de mucha utilidad realizar un diagrama de flujo con las acciones respectivas a realizar por el micro.

Recuerde que primero se lee el valor analógico de la señal de entrada conectada al puerto RA0.

Luego, se lee la interrupción causada por el Zero Crossing, el pulso enviado en cada cruce por cero deberá ser enviado como entrada al puerto B0 para utilizarlo como interrupción. Una vez que detecte la interrupción se deberá activar el temporizador y contar el tiempo calculado mediante la conversión ADC. Cuando el tiempo sea igual a la variable del ADC se desbordará el flag correspondiente del Timer 0 y con ese bit dispararemos el Triac. Y así el proceso es repetitivo. Recuerde que la detección de cruce por cero va conectada al puerto RB0 y el disparador de Triac irá conectado al RC0, mientras que la entrada analógica será la RAN0.



**Figura 3.27:** Algoritmo y diagrama de flujo para el control de fase

**Fuente:** El Autor

El programa a ingresar al microcontrolador, desarrollado en Mikrobasic, es el siguiente:

Programación del PIC 16f886

```

program prueba_control_carga_AC
DIM TEMP,LUZ AS WORD
sub procedure interrupt()

```

```

  if INTCON.TMR0IF=1 then
    INTCON.TMR0IF=0
    PORTC.RC0 = 1
    INTCON.TMR0IE = 0
    INTCON.INTE = 1

```

```

end if

```

```

if INTCON.INTF=1 then

```

```

        INTCON.INTF=0
        TMRO = LUZ
        PORTC.RC0 = 0
        INTCON.TMROIE = 1
        INTCON.INTE = 0
    end if
end sub

```

```

main:
ANSEL = 0x01
ANSELH = 0x00
TRISA=0x01
PORTA=0x00
TRISB=0x01
PORTB=0x00
TRISC=0x80
PORTC=0x00

```

```

OSCCON = 0x65
OPTION_REG=%1000100
INTCON=%11110000

```

```

TMRO=0
TEMP=0
LUZ=0

```

```

PRINCIPIO:
WHILE(1)
    LUZ = Adc_Read(0)>>2
    Delay_ms(100)
WEND
end.

```

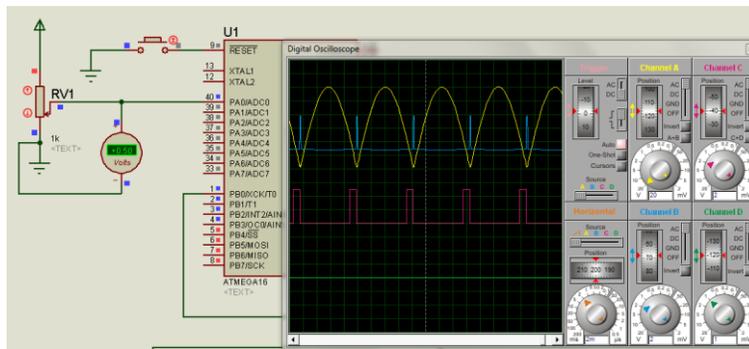
Para esta ocasión se mostrará el programa simulado en Proteus 7.10 SP2 y se abrirá una ventana de un osciloscopio digital mostrando las ondas más importantes.

La onda amarilla es la resultante del rectificador de onda completa.

La onda azul es la detección del cruce por cero de la onda anterior.

La onda rosada es la onda de disparo de los Triacs, con el desfase adecuado.

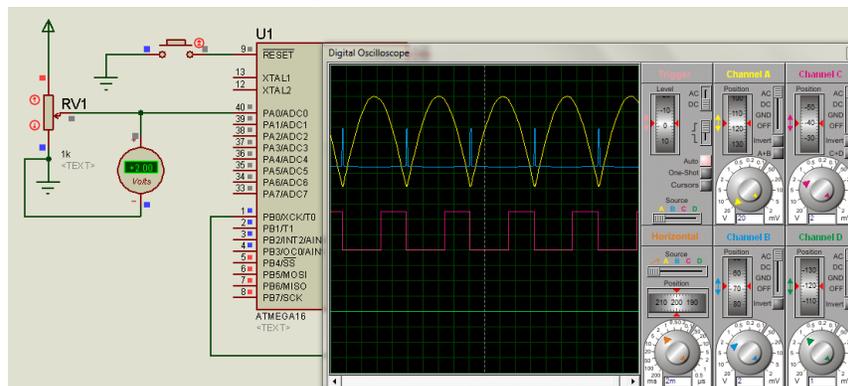
El siguiente gráfico es el desfase adecuado para una señal de entrada de 0,5 Volts.



**Figura 3.28:** Simulación del Control de Iluminación por ángulo de fase 1

**Fuente:** El Autor

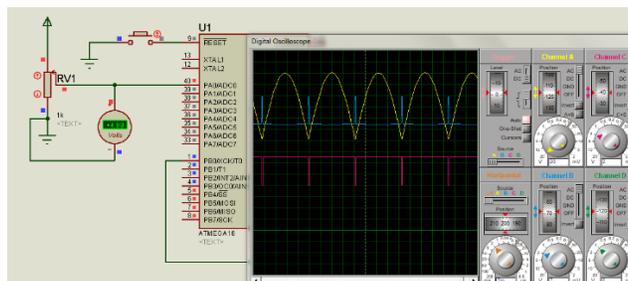
Si subimos el voltaje a la mitad, notaremos que el desfase reducirá y la porción de tiempo donde conducirá el Triac será más largo.



**Figura 3.29:** Simulación del Control de Iluminación por ángulo de fase 2

**Fuente:** El Autor

Al enviar los 5Vdc al ADC veremos como la onda de disparo del Triac será más grande y por lo tanto su tiempo de conducción será más prolongado completando casi todo el rango de los 8,33 ms.



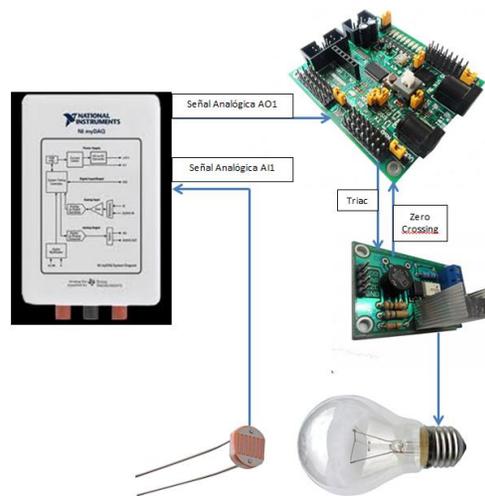
**Figura 3.30:** Simulación del Control de Iluminación por ángulo de fase 3

**Fuente:** El Autor

La idea es de realizar un dimmer común, pero que sea controlado por señales de bajo voltaje, hecho que difiere a los dimmers tradicionales.

Los dimmers tradicionales se basan en la carga y descarga de capacitores que retrasan el disparo de los Triac, tal y cual como lo hemos analizado en este trabajo de grado.

Con esto, nuestro diagrama quedaría así:



**Figura 3.31:** Diagrama Esquemático del Control de Iluminación por ángulo de fase

**Fuente:** El Autor

### 3.5. Análisis de Sonido

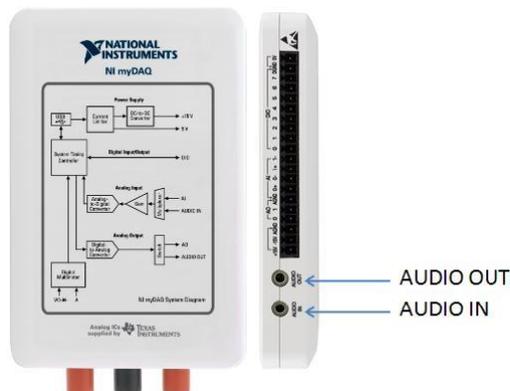
Para el análisis de sonido únicamente necesitaremos 2 cosas importantes: una entrada y una salida.

La entrada de audio será dada por un micrófono con entrada de Jack de 3.5 mm.

La salida de audio será realizada por un parlante con el mismo conector del micrófono.

Estos componentes van directamente conectados a la tarjeta MyDAQ para su posterior análisis.

Este apartado será importante conocerlos para comprender conceptos fundamentales en el procesamiento digital de las señales.



**Figura 3.32:** Conectores de Audio de la MyDAQ

**Fuente:** (National Instruments, 2011)

### 3.6. Contactos de Propósito General

En esta planta electrónica se han provisto de algunas salidas de propósito general para cualquier accionamiento adicional.

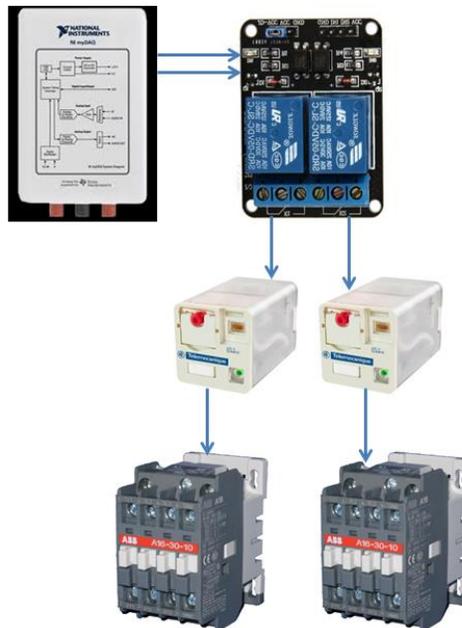
Desde las borneras de los relés podemos activar varias cargas de poca corriente o de corriente moderada e incluso mandar a activar contactores para controlar el encendido de cargas de mayor amperaje.

Esto es un punto adicional en el desarrollo de la planta, ya que, desde estas borneras podremos accionar cualquier tipo de cargas de hasta 50 Amperios.

Se pueden hacer accionamientos de todo tipo, desde luminarias hasta motores.

Obviamente, como es natural se tiene que realizar la respectiva interfaz de potencia para los relés. En esta ocasión, se han reservado 2 canales en la interfaz de potencia para este objetivo.

El diagrama de bloques de estos relés de propósito general es:



**Figura 3.33:** Diagrama esquemático de los contactores de propósito general

**Fuente:** El Autor

### 3.7. Diseño Mecánico del Banco de Trabajo

El banco mecánico se lo construirá en dos partes. La primera parte corresponde a una base hecha de barras de hierro, y la segunda parte estará hecha a base de una plancha de lata fuerte para poder soportar los elementos.

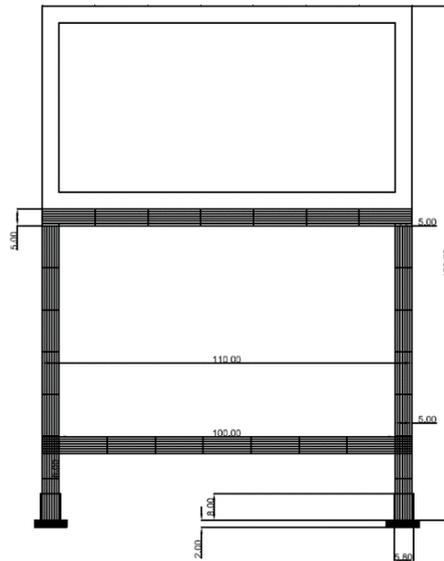
Al final se construyó una mesa móvil que soporta todos los elementos y que adicionalmente se le puso un sistema de freno para dejar fija y estable la planta electrónica.

La altura de todo el banco es de 153.50 cms.

El ancho de todo el banco es de 110 cms.

La barra de hierro es de 5cms de espesor.

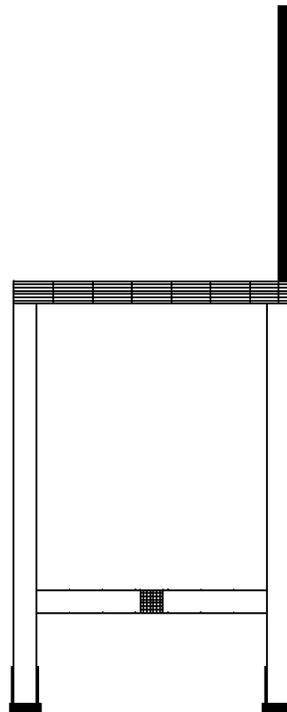
En la siguiente imagen se nota una vista frontal del banco, y además se presentan sus medidas principales, las mismas que están en centímetros.



**Figura 3.34:** Vista frontal del banco de trabajo

**Fuente:** El Autor

En la siguiente imagen se presenta una vista lateral de la mesa, en la que se ve su constitución mecánica.

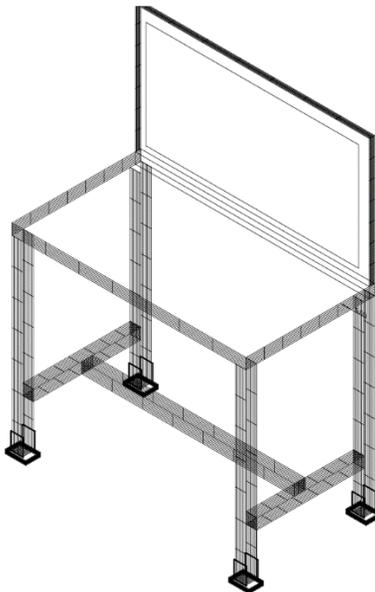


**Figura 3.35:** Vista lateral del banco de trabajo

**Fuente:** El Autor

Como se aprecia en la imagen se nota que en la parte posterior del banco se pone un nervio del mismo material de la estructura principal, es decir, una "I" de hierro, esto es para que sostenga la estructura que no se desestabilice, y que no se deteriore con el paso del tiempo.

En las imágenes posteriores se aprecia el banco visto desde otras perspectivas.



**Figura 3.36:** Vista Isométrica del banco de trabajo

**Fuente:** El Autor

Sobre estos soportes se colocarán los dispositivos mencionados anteriormente, teniendo en cuenta las distancias exactas y precisas para no provocar desestabilidad entre sistemas.

## CAPÍTULO 4: PRÁCTICAS TUTORIALES

En este capítulo se tratará de explicar las prácticas que guiarán a los alumnos a entender el correcto funcionamiento de la planta electrónica.

Para nuestro objetivo tendremos un modelo de práctica fijo, con el membrete de la universidad con el cual iremos editando los datos, según sea la práctica.

Las prácticas fueron desarrolladas de una manera eficiente para facilitar el aprendizaje de las mismas y entender el funcionamiento, no solo del banco, sino de estos elementos en general y analizar como los podemos controlar fácilmente.

Además complementar la teoría, impartidas en las aulas de clase, con la práctica *in situ* de estos tópicos.

El modelo a seguir en la elaboración de las prácticas es el siguiente:



**Figura 4.1:** Modelo de VI

**Fuente:** El Autor

### **PRÁCTICA #1**

Arranque e Inversión de Giro de un Motor Trifásico

#### Introducción

Esta práctica reforzará conocimientos en control de motores manualmente, y está diseñada para comprender como un variador de frecuencia puede facilitarle las acciones al operador.

#### Objetivos

- ✓ Conocer y entender el funcionamiento del arranque e inversión de giro de un motor trifásico con señales digitales pequeñas.
- ✓ Observar la operación adecuada de la MyDAQ para trabajar con señales digitales.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

#### Desarrollo

Para empezar esta práctica debemos conocer como está armada la planta electrónica en la parte de control de velocidad. Para esto se puede revisar el manual completo donde indica las conexiones adecuadas del sistema de control de velocidad.

En esta práctica se utilizará la MyDAQ, la Interfaz de Potencia de 2 relés, el variador de frecuencia y el motor trifásico.

Hay que tener en cuenta que hay que configurar los parámetros del variador para que podamos enviarle la consigna analógica y varíe su velocidad con este método.

También hay que configurarlo para indicarle por que lado va a recibir las fuentes de órdenes de arranque e inversión de giro.

Se pueden enviar órdenes de arranque e inversión de giro desde el computador mediante las salidas digitales de la MyDAQ o desde el panel BOP, propio del variador.

Para esto detallaremos los pasos:

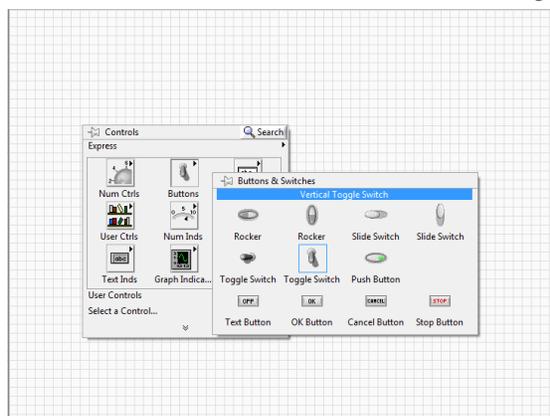
- Abrimos un nuevo VI en blanco.



**Figura 4.2:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

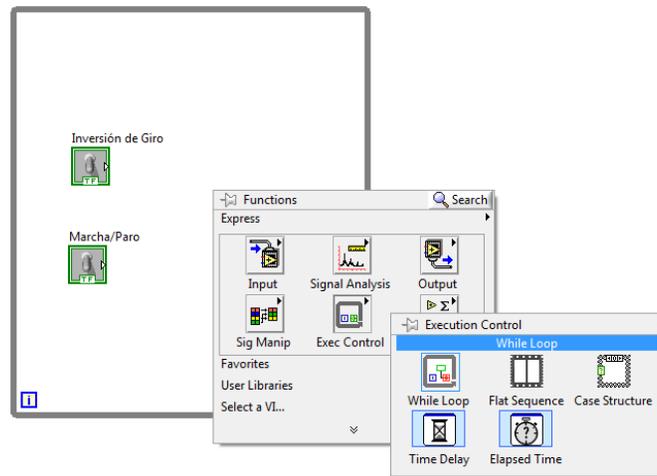
- Se realiza el diseño del VI como nos indica la figura 4.1.
- Se añaden dos botoneras de control en *Controls > Buttons > Toggle Switch*



**Figura 4.3:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

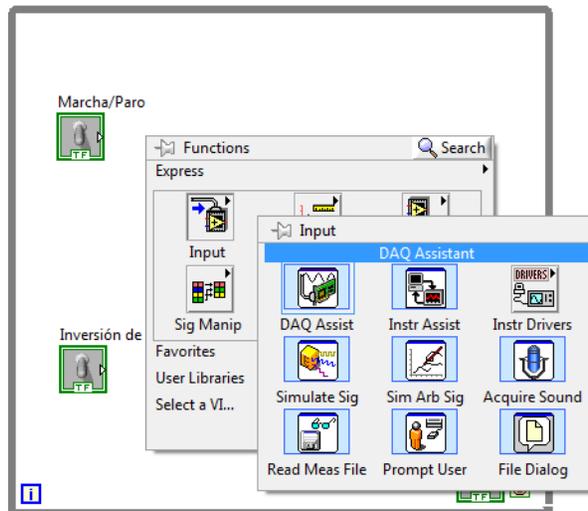
- Ahora, en el diagrama de bloques se procede a dar clic derecho y se selecciona un While Loop en *Express > Exec Control > While Loop*.



**Figura 4.4:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

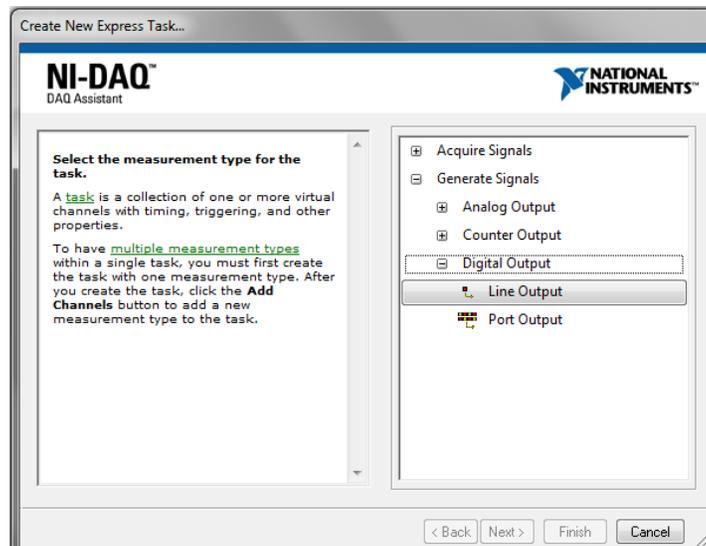
- Ahora se añade el DAQ Assistant y se lo configura para poder utilizar una salida digital.



**Figura 4.5:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

- Debido a que nuestro objetivo es activar salidas digitales, cuando el DAQ Assistant se abra seleccionamos: *Generate Signals > Digital Output > Line Output*.



**Figura 4.6:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

Al seleccionar *Line Output* podremos seleccionar una sola salida de propósito general. Si se selecciona *Port Output* podremos activar todo un puerto de 8 bits. En el caso especial de la MyDAQ tendremos solo un puerto con 8 DIOs. Haciendo la comparación con un microcontrolador, recordemos cuando en un puerto, tal como, el PortB de un Pic tiene 8 bits diferentes que pueden ser utilizados indistintamente como entrada o salida, según sea el caso.

Así se nos presenta en la MyDAQ y en otras tarjetas de Adquisición de Datos como la USB 6009, incluso hasta en la plataforma Elvis MX.

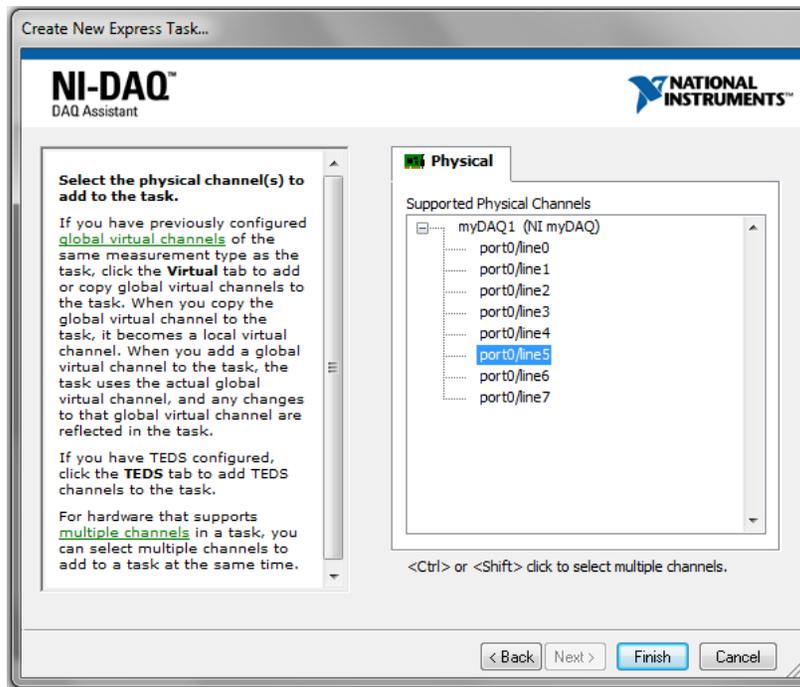
- Se selecciona las salidas digitales 4 y 5, las mismas que, pasando previamente por la interfaz de potencia, están conectadas a los pines 3 y 4 del variador Sinamics G110.

Para nuestro caso particular están así:

DIO – MyDAQ	Pines del Variador	Acción del Motor
<b>DIO 4</b>	Pin 3	Arranque
<b>DIO 5</b>	Pin 4	Inversión de Giro

**Tabla 9:** Pines de conexión entre el Variador Sinamics G110 y la MyDAQ.

**Fuente:** El Autor



**Figura 4.7:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

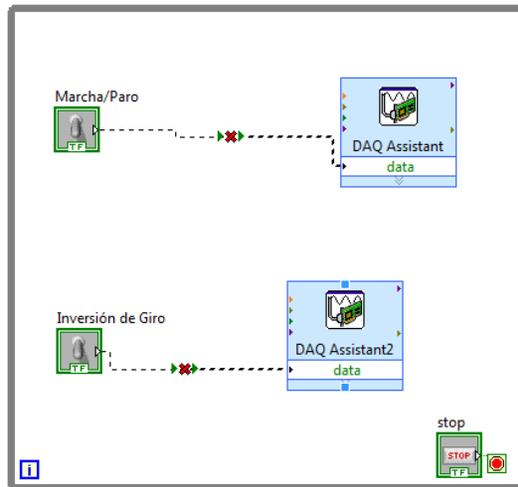
Se selecciona Port0/Line4 o DIO4, para el arranque, y Port0/Line5 o DIO5, para la inversión de giro.



**Figura 4.8:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

- La primera impresión sería cablear directamente desde el objeto booleano o switch hacia los indicadores DAQ Assistant 1 y 2, pero al hacerlo tenemos un error.

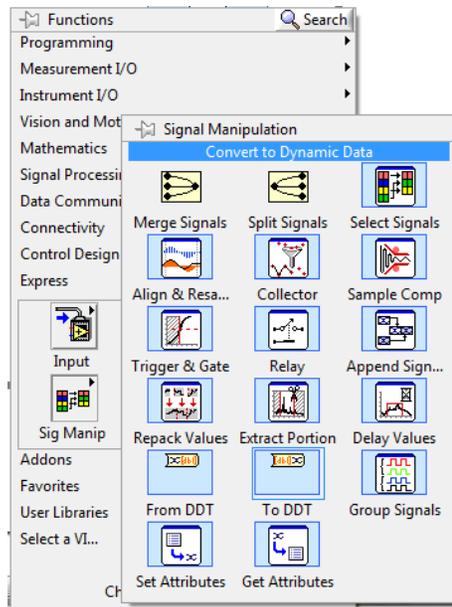


**Figura 4.9:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

Este error se debe a que el DAQ Assistant creado acepta valores booleanos pero de tipo DDT (Dinamic Data Type). Lo único que hay que hacer es seleccionar un convertidor de booleano a DDT.

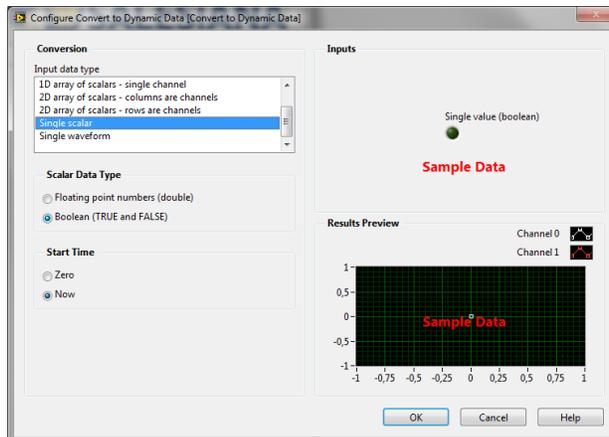
Para corregir este pequeño error es necesario seleccionar el convertidor mencionado desde: *Signal Manipulation > To DDT*.



**Figura 4.10:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

Al seleccionar este objeto y ponerlo en el Diagrama de Bloques se abre un cuadro de diálogo en el cual se seleccionará el tipo de dato de entrada, en este caso: *Single scalar > Boolean*.

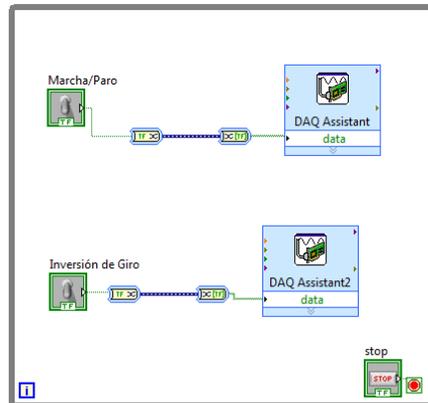


**Figura 4.11:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

- Se une el switch con el convertidor y de la salida del mismo se lo une al Daq Assitant. Al unir se creará automáticamente otro convertidor para completar el proceso.

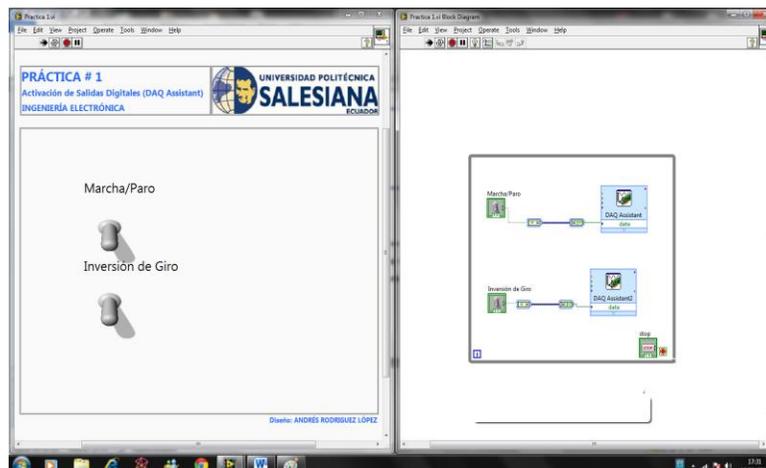
De esta manera, el VI queda así:



**Figura 4.12:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

Al ejecutar todo el proceso se encuentra el resultado deseado.



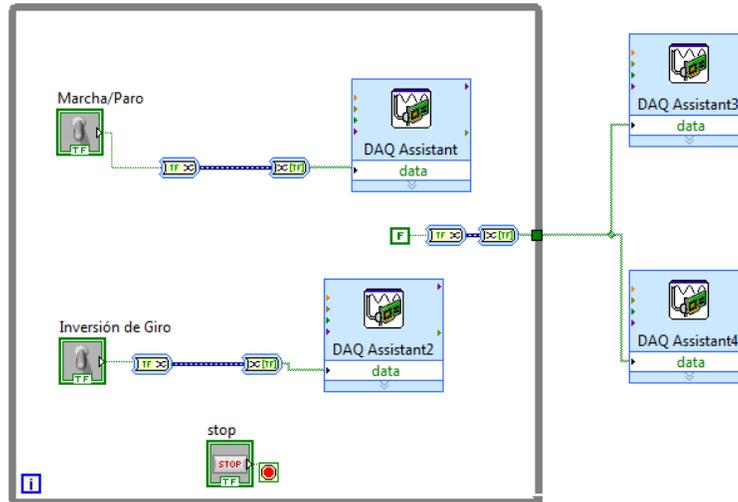
**Figura 4.13:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

## Recomendación Adicional

Es importante copiar una instancia de cada DAQ Assistant y enviarle un valor de “0” o “False” al parar el programa. Esto se debe a que cuando se para el programa, el DAQ Assistant se queda grabado con el último valor que obtuvo en el desarrollo del programa.

Por lo tanto, debemos enviarle un valor FALSE al DAQ Assistant del DIO 4 y 5, poniendo una constante y realizar un túnel hacia una instancia del DAQ Assistant fuera del VI.



**Figura 4.14:** Práctica 1

**Fuente:** El Autor

### Actividades

Con el multímetro existente en el panel *Instruments Launcher* de National Instruments, tome una medición del valor de voltaje entregado por los canales digitales y apúntelos en la siguiente tabla.

DIO 4	
DIO 5	

## **PRÁCTICA #2**

Control Manual de velocidad utilizando DAQ Assistant

### Introducción

Esta práctica reforzará conocimientos en control de motores manualmente, y está diseñada para comprender como un variador de frecuencia puede facilitarle las acciones al operador.

### Objetivos

- ✓ Conocer y entender el funcionamiento del control manual de un motor trifásico con señales analógicas pequeñas.
- ✓ Observar la operación adecuada de la MyDAQ para trabajar con señales digitales.
- ✓ Utilizar los recursos de programación de DAQ Assistant.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

### Desarrollo

Se tiene que comprender que el control manual desde la MyDAQ va a ser dado por una salida analógica de 0-10 Vdc.

La salida analógica por la que se va a controlar el variador es la AO1 que irá conectada al Pin 9 del variador.

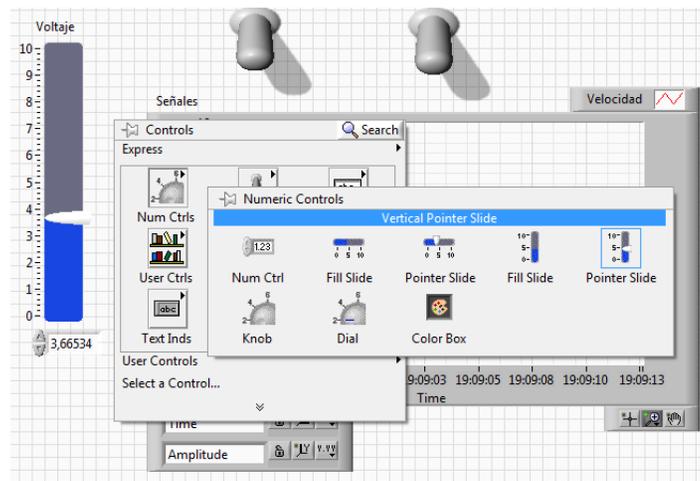
Pin MyDAQ	Pines del Variador	Acción del Motor
<b>AO0</b>	Pin 9	Variante Analógica
<b>AGND</b>	Pin 10	GND

**Tabla 10:** Pines de conexión entre el Variador Sinamics G110 y la MyDAQ.

**Fuente:** El Autor

Para esto detallaremos los pasos:

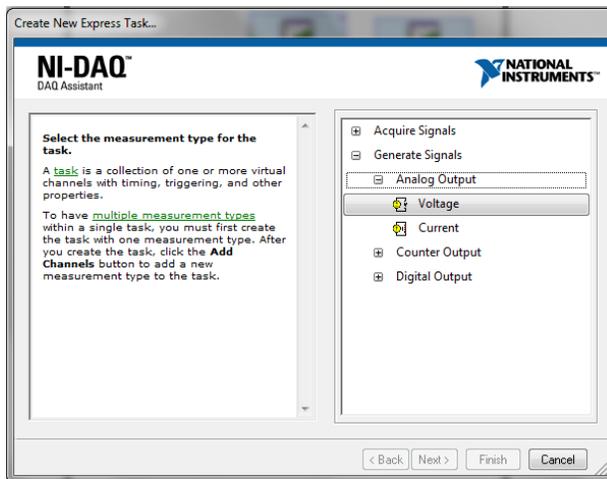
- Abrimos el VI de la Práctica #1.
- Se añade un control SLIDE.



**Figura 4.15:** Práctica 2

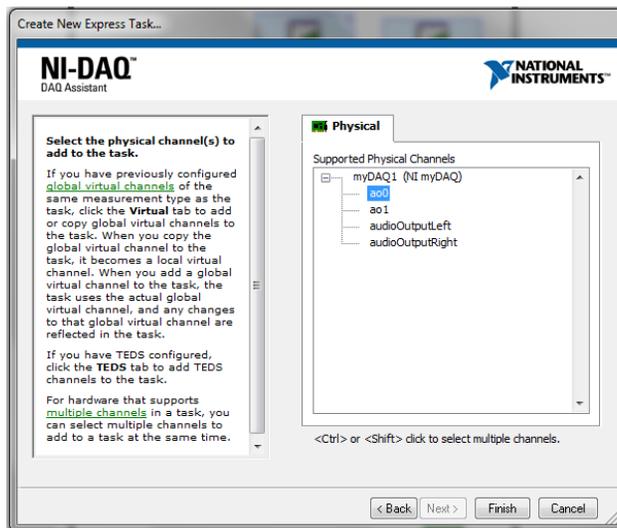
**Fuente:** El Autor

- Se añade un DAQ Assistant y, para esta ocasión, en vez de poner salidas digitales seleccionamos *Generate Signals > Analog Output > Voltage*.  
Luego de realizar estos pasos podremos seleccionar que puerto o que dirección va a ser la salida analógica que varíe a velocidad del motor.  
En este caso, se ha seleccionado la Analog Output 0.



**Figura 4.16:** Práctica 2

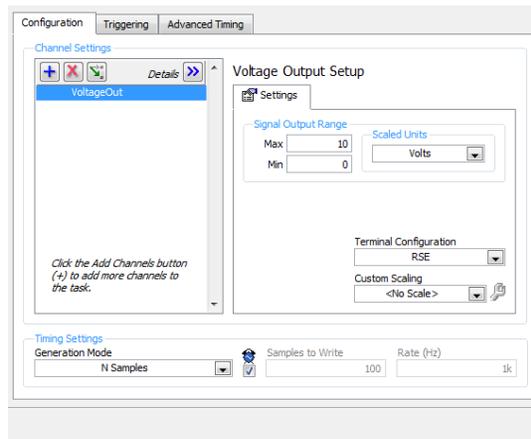
**Fuente:** El Autor



**Figura 4.17:** Práctica 2

**Fuente:** El Autor

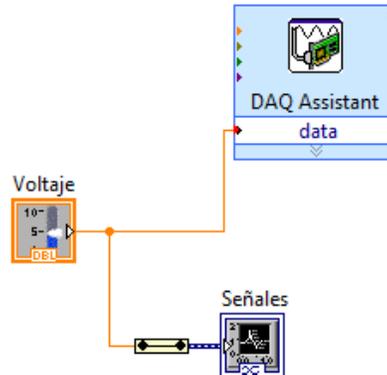
- La configuración a realizar en este cuadro de diálogo es la siguiente:



**Figura 4.18:** Práctica 2

**Fuente:** El Autor

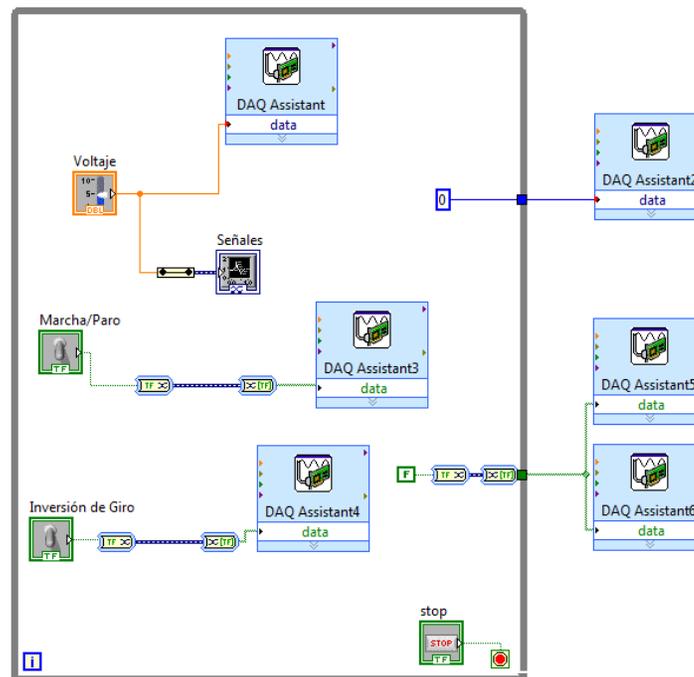
- A continuación, se une el control Slider con la entrada del DAQ Assistant.



**Figura 4.19:** Práctica 2

**Fuente:** El Autor

El diagrama de bloques completo queda de la siguiente manera:



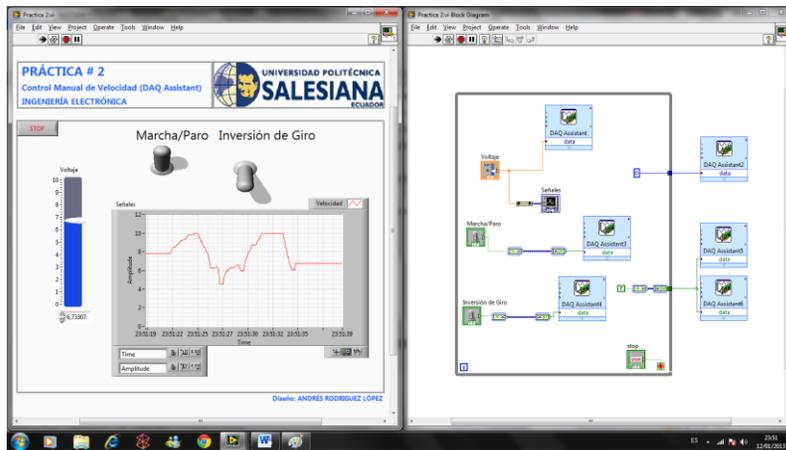
**Figura 4.20:** Práctica 2

**Fuente:** El Autor

Hay que notar que cuando se comandan señales analógicas también se les envía un valor vacío, falso o cero cuando se acaba el programa a manera de túnel para que, cuando se pare la ejecución, se apaguen todas las señales existentes.

Además añadimos un *Waveform Chart*, para ver la cantida que toma el voltaje.

A continuación, tenemos el panel frontal y diagrama de bloques juntos, en el cual constan todas las partes del desarrollo del programa.



**Figura 4.21:** Práctica 2

**Fuente:** El Autor

Actividades

Con el multímetro existente en el panel *Instruments Launcher* de National Instruments, tome una medición del valor de voltaje dc analógico entregado por los canales conectados al variador de frecuencia y apúntelos en la siguiente tabla.

Pin MyDAQ	Pines del Variador	Voltaje Analógico
<b>AO0</b>	Pin 9	
<b>AGND</b>	Pin 10	

**PRÁCTICA #3**

Control Manual de velocidad utilizando DAQMX

Introducción

Esta práctica reforzará conocimientos en control de motores manualmente, y está diseñada para comprender como un variador de frecuencia puede facilitarle las acciones al operador.

Objetivos

- ✓ Conocer y entender el funcionamiento del control manual de un motor trifásico con señales analógicas pequeñas.
- ✓ Observar la operación adecuada de la MyDAQ para trabajar con señales digitales.
- ✓ Utilizar los recursos de programación de DAQ MX.
- ✓ Conocer y cuantificar las ventajas que tiene el poder hacer un control sin el DAQ Assistant y comparar con el DAQ MX.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

Desarrollo

Al igual que la práctica anterior se tiene una salida analógica de 0-10 Vdc desde la MyDAQ que variará manualmente de acuerdo a nuestro gusto.

La salida analógica por la que se va a controlar el variador es la AO1 que irá conectada al Pin 9 del variador.

Pin MyDAQ	Pines del Variador	Acción del Motor
<b>AO0</b>	Pin 9	Variante

		Analógica
AGND	Pin 10	GND

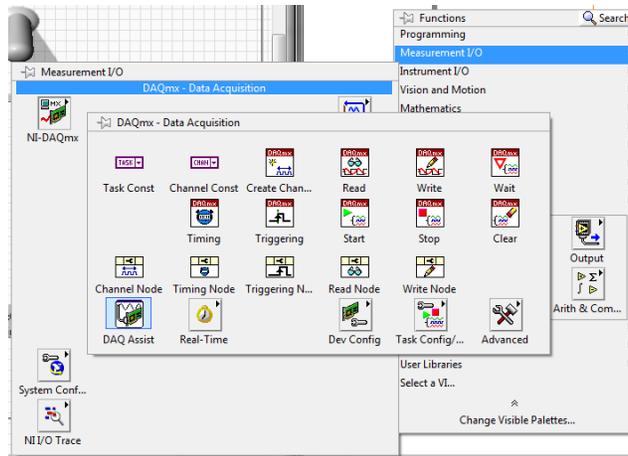
**Tabla 11:** Pines de conexión entre el Variador Sinamics G110 y la MyDAQ.

**Fuente:** El Autor

Para esto detallaremos los pasos:

Lo primero es editar el VI anterior. Solo se borra el DAQ Assistant que manipula la señal analógica.

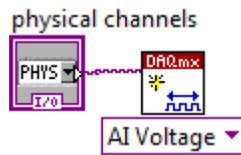
- Se crea un canal o tarea en la pestaña *Measurement I/O > NI-DAQmx > Create Channel*



**Figura 4.22:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

- Se crea un control para seleccionar el canal físico, dándole clic izquierdo en el terminal *Physical Channel*, de ahí se selecciona *Create > Control*.

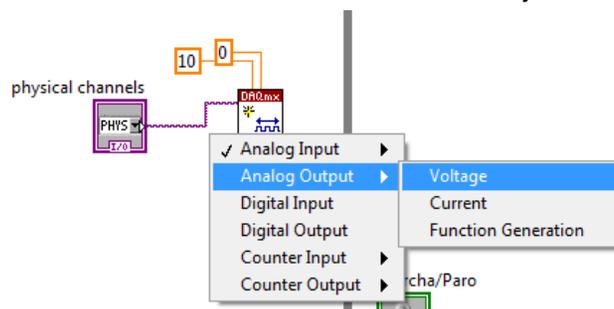


**Figura 4.23:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

- Ahora se crean dos constantes para el valor máximo y mínimo de la salida analógica a controlar.
- En la parte inferior del bloque DAQmx hay la opción para seleccionar con qué tipo de datos o salidas vamos a trabajar.

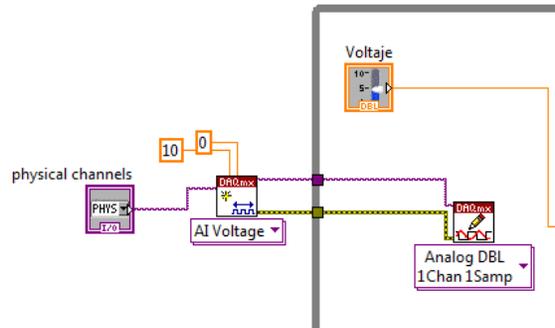
En nuestro caso particular seleccionamos una salida de voltaje análogo.



**Figura 4.24:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

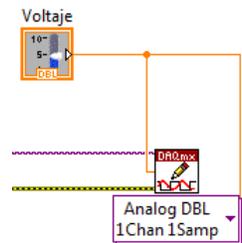
- Dentro del bucle While Loop creamos otro bloque de la paleta NI-DAQmx que se llama *Write*. Este será necesario para escribir un valor en las salidas análogas. Se unirán al task anterior y se cablearán las señales de error, quedando de la siguiente manera:



**Figura 4.25:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

- Ahora se unirá el control Slider, que será el encargado de enviarle el valor a escribir en la salida seleccionada, al terminal de datos del bloque Write de DAQmx.



**Figura 4.26:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

- Cuando ya se hayan unido todos los terminales necesarios, finalizando el bloque While Loop se debe limpiar los task del DAQmx. Para esto hay que seleccionar *Clear* de la paleta DAQmx.

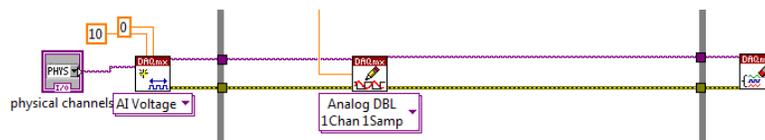


**Figura 4.27:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

Para utilizar los objetos DAQmx siempre se debe realizar el mismo procedimiento:

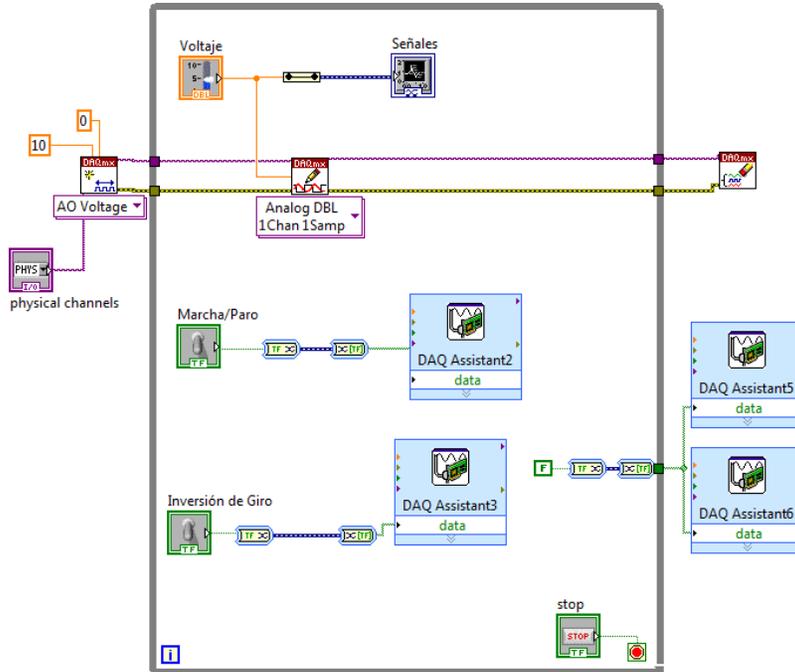
1. Crear Canal
2. Acción a ejecutar (Read, Write)
3. Limpiar Canal



**Figura 4.28:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

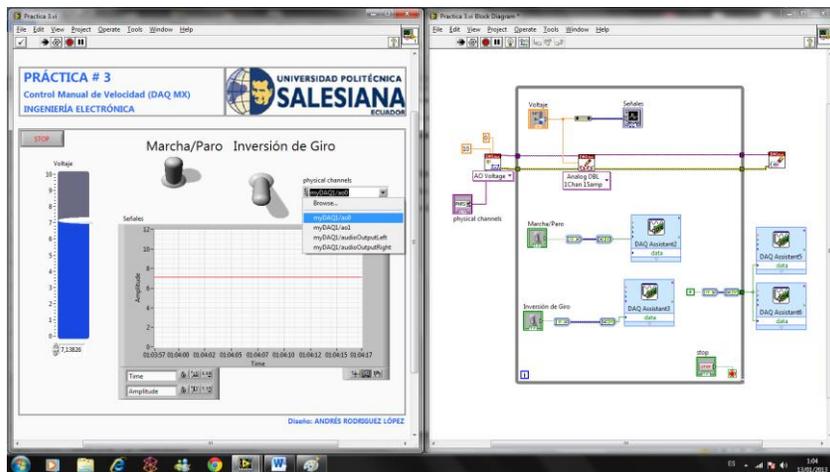
El diagrama de bloques final queda de la siguiente manera:



**Figura 4.29:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

Recuerde que tenemos que seleccionar el canal por el cual tendremos la salida analógica y lo más importante es que para detener la ejecución del programa lo debemos hacer únicamente desde el botón STOP.



**Figura 4.30:** Práctica 3

**Fuente:** El Autor

Actividades

Con el multímetro existente en el panel *Instruments Launcher* de National Instruments, tome una medición del valor de voltaje dc analógico entregado por los canales conectados al variador de frecuencia y apúntelos en la siguiente tabla.

Pin MyDAQ	Pines del Variador	Voltaje Analógico
<b>AO0</b>	Pin 9	
<b>AGND</b>	Pin 10	

## PRÁCTICA #4

### Medición de Velocidad con Señal del Encoder - Forma Analógica

#### Introducción

Esta práctica reforzará conocimientos en instrumentación industrial y nos enseñará como medir velocidad en un motor trifásico de una manera muy eficiente.

#### Objetivos

- ✓ Conocer y comprender como funciona un encoder absoluto.
- ✓ Observar la operación adecuada de la MyDAQ para trabajar con señales de pulsos.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

#### Desarrollo

El encoder absoluto es de 360 pulsos por revolución. Se alimenta a +24Vdc, dicha alimentación la tomaremos del variador. Además presenta 3 salidas: A, B y Z, que son las encargadas de medir los pulsos y el sentido de giro.

Las conexiones del encoder se detallan a continuación:

Pines del Encoder	Pines del Variador	Acción
<b>+24 VDC</b>	Pin 6	Positivo
<b>GND</b>	Pin 7	Negativo

**Tabla 12:** Pines de conexión entre el Encoder Autonics y el variador Sinamincs.

**Fuente:** El Autor

Pines del Encoder	Pines de la MyDAQ	Acción
<b>A (Pull-Up)</b>	AI 1	Pulsos de Velocidad
<b>GND</b>	AGND	Referencia

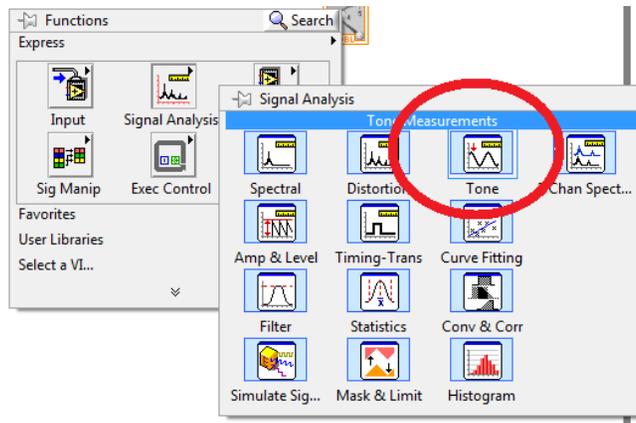
**Tabla 13:** Pines de conexión entre el Encoder Autonics y la MyDAQ.

**Fuente:** El Autor

Nótese que para medir la velocidad vamos a seleccionar el canal de entrada analógico AI1, mediante el cual mediremos la frecuencia de los pulsos digitales y se realizarán los cálculos necesarios para sacar la velocidad existente en el motor.

Para esto detallaremos los pasos:

- Se abre el archivo Modelo.vi, en el cual está el modelo general del VI a utilizar en todas las prácticas.
- El proceso de crear un bucle *While Loop* y su botonera de *Stop* es el mismo para todos los programas.
- Posterior a eso se abrirá el DAQ Assistant y se leerá una señal de entrada analógica, en la cual está conectada la salida del encoder. No olvidar que la señal A del encoder absoluto debe ir acompañado de una resistencia de Pull-Up.
- Se selecciona *Signal Analysis > Tone Measurements*.

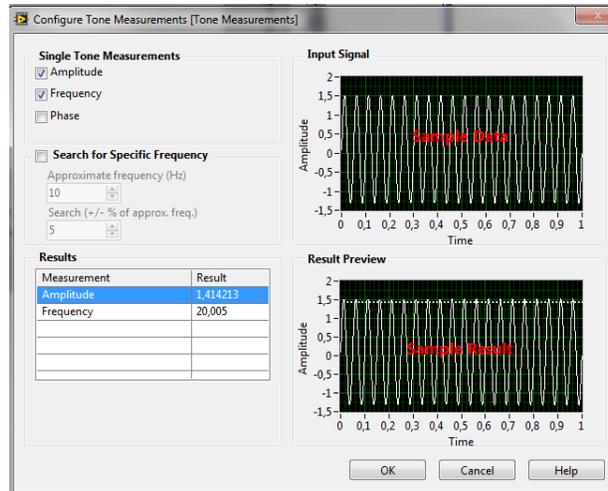


**Figura 4.31:** Práctica 4

**Fuente:** El Autor

Este SubVI es muy útil a la hora de medir la amplitud y la frecuencia de una señal en particular.

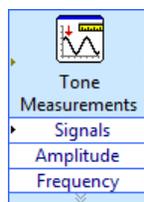
Solo debemos señalar las magnitudes que queremos sacar de una señal específica que conectemos a la entrada.



**Figura 4.32:** Práctica 4

**Fuente:** El Autor

- Se escoge *Frequency* y *Amplitude*.



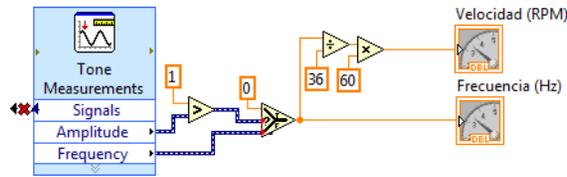
**Figura 4.33:** Práctica 4

**Fuente:** El Autor

Al haber escogido estas opciones, en el VI tenemos disponible la señal de entrada *Signals* y de salida *Amplitude* y *Frequency*.

En estas dos salidas tendremos el valor de la frecuencia de los pulsos medidos por el encoder absoluto. La magnitud de amplitud la utilizamos para detectar si hay existencia de señal y obviar el cálculo para señales de ruido.

- Para encontrar el valor exacto de velocidad se deben efectuar una serie de cálculos matemáticos necesarios detallados a continuación.



**Figura 4.34:** Práctica 4

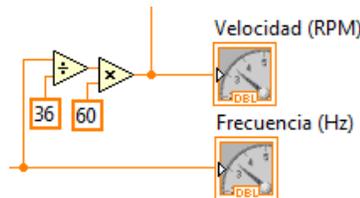
**Fuente:** El Autor

Primero se compara si la amplitud. Si la amplitud es menor que 1 nos indica que el Motor trifásico no esta girando, por lo tanto el encoder estará brindando una señal sin pulsos, la misma que puede estar en estado alto o bajo, según donde haya parado el disco, además si no está girando el motor, se pueden inducir interferencias electromagnéticas y que se las leerá como pulsos no deseados y la frecuencia que se mide será la del ruido de la señal, mas no de la velocidad.

Cuando el motor empieza a girar, la amplitud será mayor a uno, entonces en el selector se multiplexa la salida con la frecuencia de los pulsos medidos.

Recordemos que el encoder absoluto es de 360 pulsos por revolución, esto nos lleva a un análisis mucho más sencillo, debido a que, en una vuelta completa se gira 360 grados mecánicos y por cada vuelta el encoder manda 360 pulsos, esto nos indica que el encoder envía un pulso por grado mecánico.

En eso se basa el cálculo matemático, porque notamos que se escoge la frecuencia y se la divide para 360, que son los números de pulsos, para así obtener la duración de un solo pulso, y se lo multiplica por 60 para tener la velocidad en revoluciones por minuto.



**Figura 4.35:** Práctica 4

**Fuente:** El Autor

Actividades

Con el osciloscopio existente en el panel NI Elvis MX *Instruments Launcher* de National Instruments, tome una muestra de la entrada analógica en la cual está conectada la señal del encoder y pegue una copia de dicha señal cuadrada en el siguiente cuadro.



## **PRÁCTICA #5**

Caracterización del Motor Ac Trifásico – Curva Voltaje vs Velocidad

### Introducción

Esta práctica nos sirve para determinar la curva de caracterización del Motor trifásico de la Planta Electrónica, que es para comprobar la linealidad entre las variables existentes en el proceso.

### Objetivos

- ✓ Demostrar la curva de caracterización del motor trifásico.
- ✓ Comprobar la linealidad entre la variable controlada y la variable a controlar.
- ✓ Determinar los rangos en los cuales el sistema es inestable y discontinuo.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

### Desarrollo

Las conexiones son las mismas que la Práctica #4.

En esta práctica se hará la curva de caracterización de un motor trifásico, en la cual, veremos la respuesta de velocidad ante un voltaje determinado, y se irá graficando una curva automáticamente, en la cual veremos las discontinuidades de esa curva, la misma que nos servirá para tener una precisión más exacta en el ajuste de las constantes para el control PID.

La idea básica del control de velocidad es dar un voltaje determinado y ver una acción de respuesta en el motor. Mientras más voltaje se inyecte al motor, más velocidad adquirirá.

En esta práctica se busca inyectar un voltaje muy bajo e ir aumentando en unidades de 0,01 voltios y a su vez medir la velocidad para observar la respuesta del motor.

De esta manera, se creará un gráfico en coordenadas cartesianas donde se observa la curva “**Voltaje vs. Velocidad**”.

- Se abre el archivo Practica 5.vi en Labview para analizar el algoritmo de control.

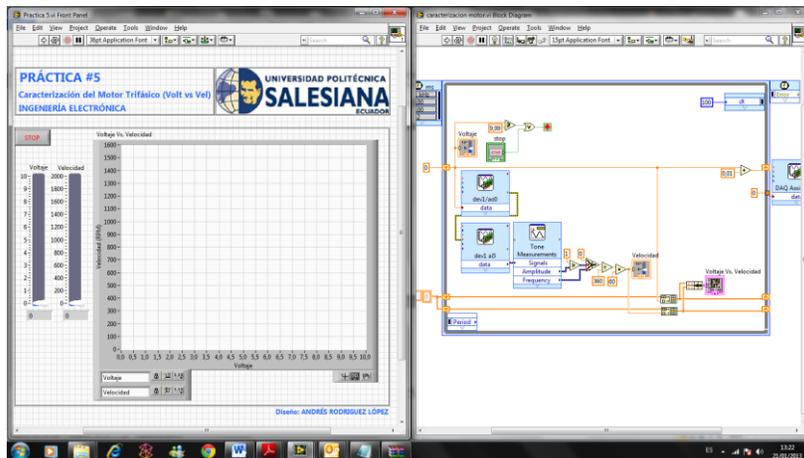


Figura 4.36: Práctica 5

Fuente: El Autor

- Si apreciamos la figura del proyecto completo nos damos cuenta que en el panel frontal necesitamos poner dos indicadores tipo *Slide*, un botón de Stop y un visor de coordenadas X-Y.
- El funcionamiento del diagrama de bloques es sencillo y fácil de asimilar. Primero, se crea un lazo While-Loop y se añaden 3 *Shift Register*.
- La sección del primer *Shift Register*, contando desde la parte superior del programa incrementa progresivamente el valor de Voltaje de salida al Motor Trifásico desde cero hasta 10V en saltos de 0.01 V. Cuando el voltaje sea mayor o igual a 9,99 V el programa se detendrá.
- Dicho valor va a una salida analógica creada por el DAQ Assistant y este voltaje va directamente a la variante analógica del variador de frecuencia.

En este caso se la enviará a la salida Analog Output 0. Esta salida hará que se mueva progresivamente el motor hasta llegar a su velocidad máxima.

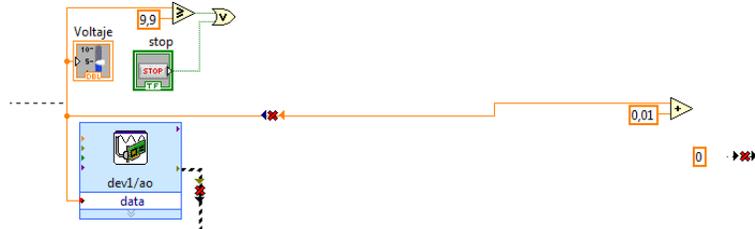


Figura 4.37: Práctica 5

Fuente: El Autor

- El proceso de determinar la velocidad es similar al de la Práctica #4.

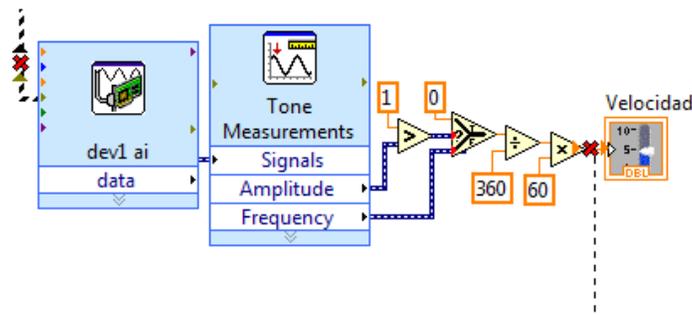


Figura 4.38: Práctica 5

Fuente: El Autor

- Se crea un arreglo o *Array* de dos elementos para poder ingresar los datos al *XY Graph* e irlos graficando conforme se van dando los resultados.



**Figura 4.39:** Práctica 5

**Fuente:** El Autor

### Actividades

Con el osciloscopio existente en el panel NI Elvis MX *Instruments Launcher* de National Instruments, tome una muestra de la forma de onda resultante al terminar el proceso de caracterización del motor trifásico.

Además, en el gráfico identifique e indique el voltaje y la velocidad en la que el motor trifásico venció el rozamiento y empezó a girar.

Demuestre que el funcionamiento del motor es lineal.



## **PRÁCTICA #6**

### Control PID de Velocidad

#### Introducción

Esta práctica nos sirve para comprender conceptos relacionados al Control PID y la manera de la fácil implementación en Labview.

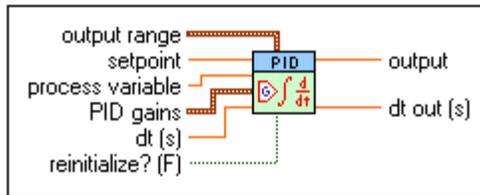
#### Objetivos

- ✓ Utilizando la curva de caracterización del motor trifásico, aplicar los resultados en la búsqueda de los parámetros adecuados para el controlador.
- ✓ Comprobar la linealidad entre la variable controlada y la variable a controlar.
- ✓ Utilizar los métodos experimentales de Ziegler-Nichols para encontrar un conjunto de valores óptimos para el controlador PID.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

#### Desarrollo

El Vi es muy sencillo de comprender debido a que Labview hace todo el proceso de control. Lo que aparentemente suele ser complicado es encontrar y sintonizar bien los parámetros PID para tener un ajuste muy fino.

Analicemos el bloque PID:



**Figura 4.40:** Práctica 6

**Fuente:** El Autor

**Output Range:** Especifica el rango al cual alcanzará el controlador.

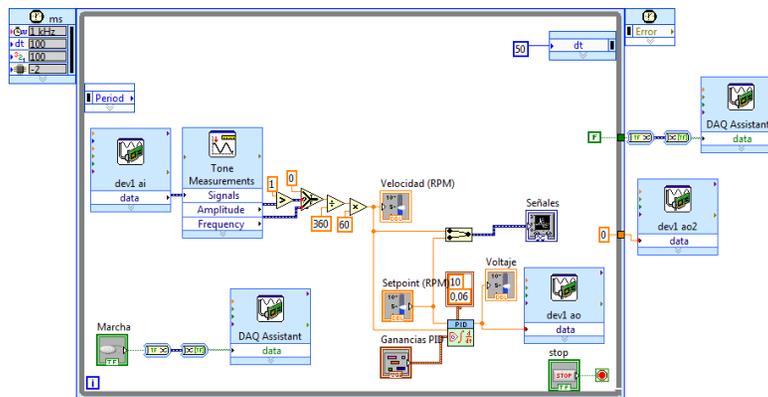
**Setpoint:** Especifica el valor de setpoint de la variable a ser controlada.

**Process Variable:** Especifica el valor medido de la variable del proceso a ser controlada.

**PID Gains:** Array que especifica la ganancia proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, en minutos.

**Output:** Especifica el valor de salida para el actuador.

El control PID de velocidad del motor trifásico es un compendio de las prácticas anteriores. Analicemos el VI.



**Figura 4.41:** Práctica 6

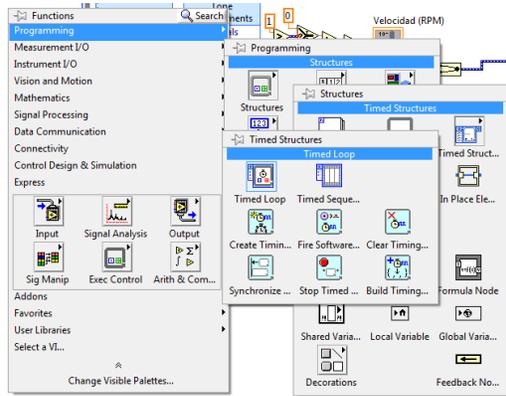
**Fuente:** El Autor

- Como ya es costumbre, se pone todo el desarrollo del proyecto dentro de un bucle de repetición. En este caso, es un *Timed Loop*, que se lo encuentra en *Programming > Structures > Timed Structures > Timed Loop*.

Esta estructura de repetición es similar al *While Loop*, incluso en su apariencia, pero es un poco más compleja porque tiene más características avanzadas.

En teoría, el *Timed Loop* ejecuta uno o más subdiagramas, o marcos, secuencialmente cada iteración o repetición del lazo en el periodo que especifiquemos.

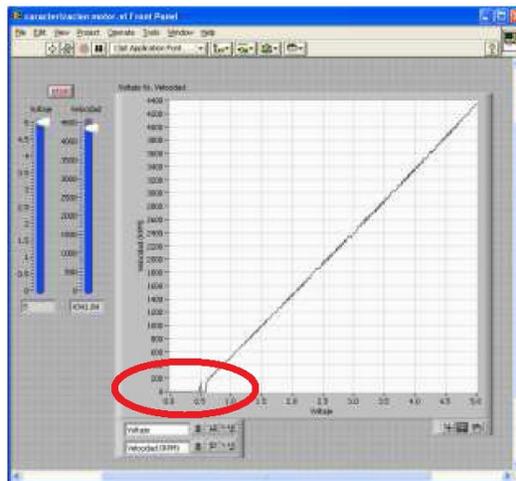
A diferencia del *While Loop*, se lo usa en aplicaciones que requieran capacidades de temporización multivelocidad, temporización precisa, realimentación en la ejecución del lazo, características de temporización que cambian dinámicamente o cuando son varios niveles de prioridad de ejecución, ya que, tiene la posibilidad de añadir frames o marcos.



**Figura 4.42:** Práctica 6

**Fuente:** El Autor

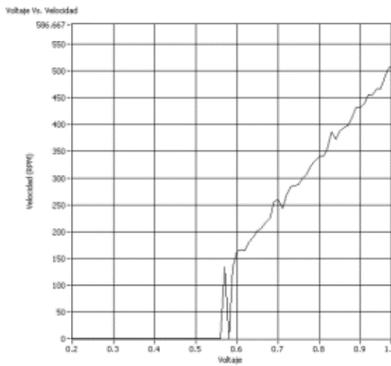
- La parte de medición de velocidad es la misma que las prácticas anteriores, con los cálculos adecuados por el encoder a utilizar.
- Una vez obtenida la velocidad se la ingresa como *input* al bloque PID. Este bloque también contiene nuestro valor de consigna o Setpoint.
- Si recordamos la práctica anterior de la caracterización del motor trifásico, en la cual se tenía la curva Voltaje vs. Velocidad, dicha curva nos brinda un dato importante y es cuando tenemos una zona lineal en la cual el motor no gira, a pesar de que se le está aplicando cierto voltaje, esto es debido a que el voltaje aplicado no es el suficiente para vencer el rozamiento y la fuerza de inercia del motor.



**Figura 4.43:** Práctica 6

**Fuente:** (Datalights, 2009)

En nuestro caso, el motor comienza a girar por encima de los 0.1V presentando varias discontinuidades y ahí en adelante presenta un comportamiento lineal.



**Figura 4.44:** Práctica 6

**Fuente:** (Datalights, 2009)

Este dato es de suma importancia porque tendremos que poner los límites para el controlador PID y dependen de que estén en el rango lineal del motor trifásico, es decir, desde 0.1v hasta 10v.

Ahora se seguirán los pasos adecuados para sintonizar los parámetros correctamente.

Según (Datalights, 2009):

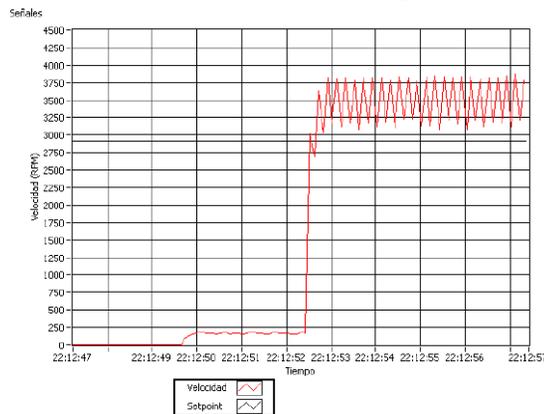
Hallar un conjunto de valores para las **Ganancias PID** utilizando el segundo método de Ziegler-Nichols según los siguientes pasos:

- Asignar  $K_c=0$ ,  $T_i=999999$ ,  $T_d=0$
- Cambiar los valores de **Setpoint**. Observar que el **Voltaje** no varía, pues no existe acción de control con  $K_c=0$ .
- Hallar un valor de ganancia proporcional  $K_c$  crítico, llamado  $K_{cr}$ , en el cual el voltaje de salida, y por lo tanto la velocidad, varíe de forma periódica en respuesta al escalón, y bajo el cual la salida sea estable en respuesta al escalón.

Se recomienda empezar por la unidad, y a continuación ir en incrementos o decrementos de potencias de 10 hasta encontrar  $K_{cr}$ .

Para crear la función escalón se puede colocar el valor de **Setpoint** en 0, borrar la gráfica tipo Chart, correr el programa, ingresar un valor de 1400 en **Setpoint** y observar la respuesta.

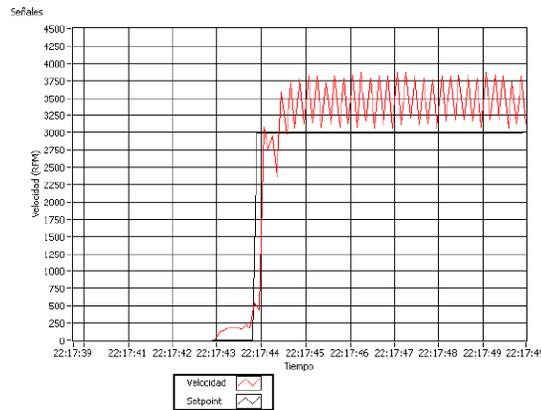
Asignar  $K_c=1$ . Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



**Figura 4.45:** Práctica 6

**Fuente:** (Datalights, 2009)

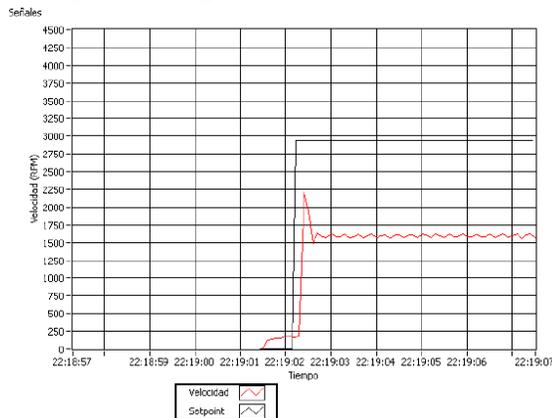
Como se puede observar, la salida varía periódicamente, así que se debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aun varía periódicamente.



**Figura 4.46:** Práctica 6

**Fuente:** (Datalights, 2009)

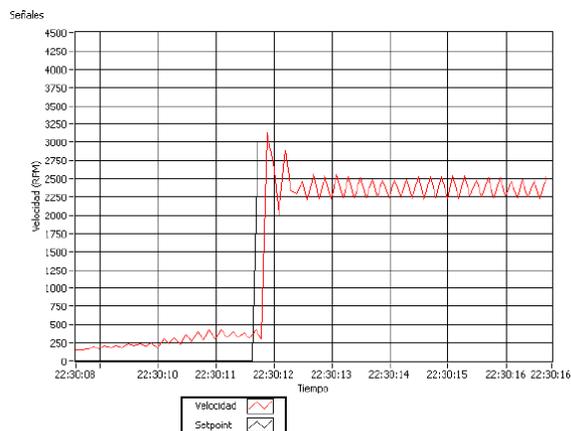
Como no ha variado se debe ir decreciendo en potencias de 10 hasta obtener una señal similar a la que está en la siguiente figura, donde se puso  $K_c=0.001$ .



**Figura 4.47:** Práctica 6

**Fuente:** (Datalights, 2009)

Como se puede observar, la salida ya no oscila. Por lo tanto, el  $K_c$  crítico está comprendido entre el penúltimo y el último valor ingresado. En este caso, cuando ingresamos 0.01 aún oscilaba, y al ingresar 0.001 nos brindó esa salida. Ahora hay que editar el  $K_c$  en un valor entre ese rango hasta verificar que oscile periódicamente y que no existan discontinuidades.



**Figura 4.48:** Práctica 6

**Fuente:** (Datalights, 2009)

Se selecciona un valor  $K_{critico}=0.003$ .

Para motivo ejemplo se toma  $K_{cr}=0.003$ . Recuerden que no todas las plantas son iguales, ya que, no tienen la misma construcción mecánica y características inéditas de cada elemento.

Se selecciona un valor  $K_{critico}=0.003$ . A continuación se mide el periodo crítico. Para ello podemos observar la frecuencia crítica de oscilación de la salida  $F_{cr}$ . El periodo crítico  $P_{cr}$  será el inverso de la frecuencia crítica  $F_{cr}$ . En este caso se tienen aproximadamente 4.9 ciclos por segundo. Las herramientas de Zoom del gráfico **Señales** pueden ser de mucha utilidad para medir esta frecuencia, tal como se muestra a continuación.

Si la frecuencia crítica es 4.9 Hz, el periodo crítico será  $1 / 4.9 = 0.2$  seg.

Tipo de Controlador	$K_c$	$T_i$	$T_d$
P	$0.5 K_{cr}$	inf	0
PI	$0.45 K_{cr}$	$1/1.2 P_{cr}$	0
PID	$0.6 K_{cr}$	$0.5 P_{cr}$	$0.125 P_{cr}$

**Figura 4.49:** Práctica 6

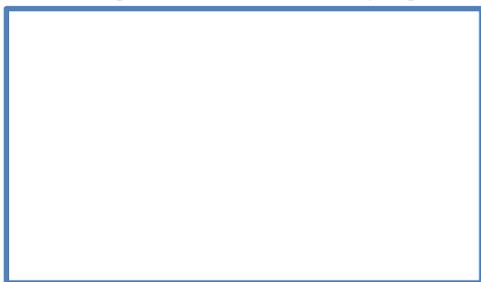
**Fuente:** (Datalights, 2009) - (OGATA, 2009)

- De acuerdo a este calculo adicional, ya podemos obtener un conjunto de valores óptimos para el controlador PID.

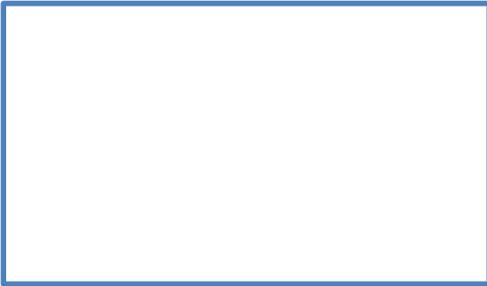
#### Actividades

Utilizando el freno manual diseñado, acciónelo para que se comience a ver el efecto del sistema de control.

En el siguiente recuadro, pegue la imagen de la onda resultante.



Ahora se variará los parámetros, la señal resultante del proceso debe ser graficada o pegada en el siguiente recuadro.



## **PRÁCTICA #7**

### Medición de Temperatura

#### Introducción

Esta práctica nos sirve para comprender conceptos relacionados a la medición de temperatura y la manera de la fácil implementación en Labview.

#### Objetivos

- ✓ Conocer la forma de medición de temperatura con sensores y transductores adecuados.
- ✓ Adquirir los datos analógicos de medición.
- ✓ Interactuar con datos digitales para la activación del extractor.
- ✓ Comparar entre un termómetro normal y un termómetro filtrado.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

#### Desarrollo

El primer punto a considerar en esta práctica es verificar la linealidad de la salida del controlador de temperatura. En este caso, verificar si los Jumpers del transmisor de temperatura están en correcta configuración para brindar las variantes de voltaje deseadas.

Para facilitar el trabajo, y con el objetivo de minimizar tiempos de diseño y calculo, se ha optado por tener una linealidad que consiste así:

$$0^{\circ} \rightarrow 0v \quad - \quad 10^{\circ} \rightarrow 10V$$

Es decir, si tenemos 30° de temperatura, el transmisor nos brindará una salida de 3 voltios dc, los mismos que serán ingresados a una entrada analógica de la NI MyDAQ, y se realizará la conversión respectiva para poder visualizar correctamente los datos.

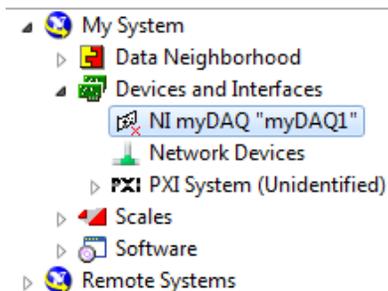
Antes de empezar, es necesario activar la salida del relé de estado sólido para que energice la resistencia calorífica y poder desactivarla en cualquier momento. Una buena opción es usar el Measurement & Automation Explorer, o más conocido como MAX, desde el cual se pueden supervisar todos los equipos de National Instruments conectados al computador y desde el cual se pueden variar sus salidas o leer las entradas de una manera sencilla y sin utilizar VIs.



**Figura 4.50:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

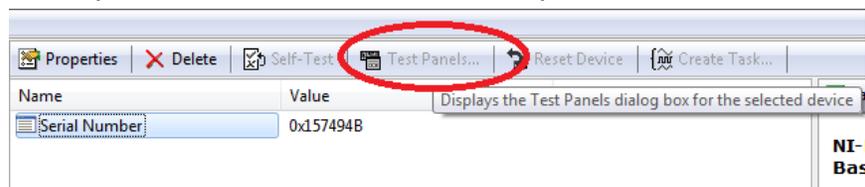
En el menú izquierdo podemos ver todas las interfaces de dispositivos conectados al PC y si la MyDAQ está correctamente conectada debe aparecer ahí.



**Figura 4.51:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

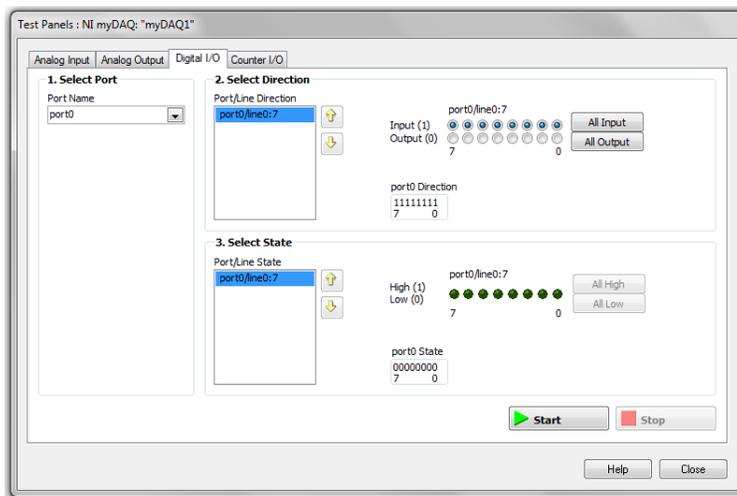
Después de seleccionar el dispositivo adecuado, se tiene que dirigir a *Test Panels* para poder seleccionar o supervisar, la salida o entrada respectivamente.



**Figura 4.52:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

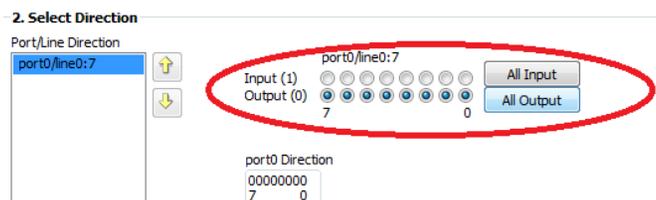
Una vez ingresado a su dispositivo se selecciona el canal sobre el cual se va a trabajar. En nuestro caso concreto vamos a editar un puerto digital.



**Figura 4.53:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

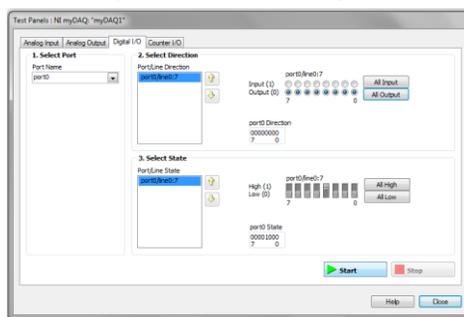
Luego seleccionamos que canal específico queremos de entrada o de salida. En alguna ocasión también podemos seleccionar todos los canales como entrada o todos como salida, según se desee.



**Figura 4.54:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

Al cambiar el valor del canal digital o cualquier otro valor en general, se pulsa el botón **START**, para que haga un test de los puertos de la MyDAQ, según lo establecido.



**Figura 4.55:** Práctica 7

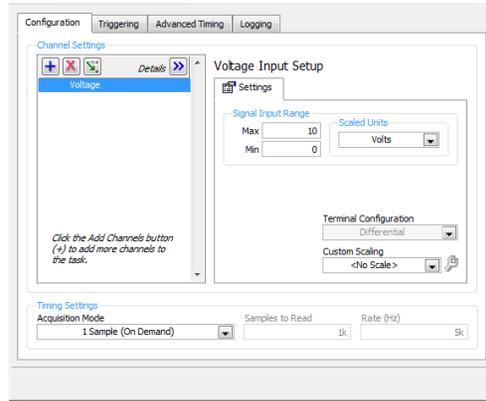
**Fuente:** El Autor

### RECOMENDACIÓN

Una vez que en el programa se haya marcado los 50° de temperatura, apague la señal digital, para que la temperatura de la resistencia calorífica no siga aumentando.

El diagrama de bloques, para poder llevar a cabo la medición de temperatura, es muy básico, ya que, posee un DAQ Assistant para leer el canal analógico del sensor.

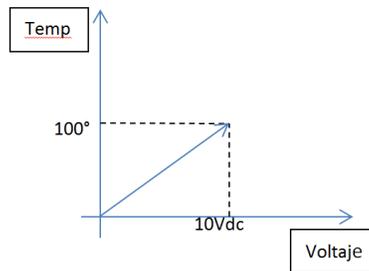
Para el canal de entrada analógico, estas son las características:



**Figura 4.56:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

Como ya se mencionó, el transmisor brindará una salida de 0 a 10Vdc, según la temperatura. Para esto, como referencia hay que tener la ecuación de la recta.

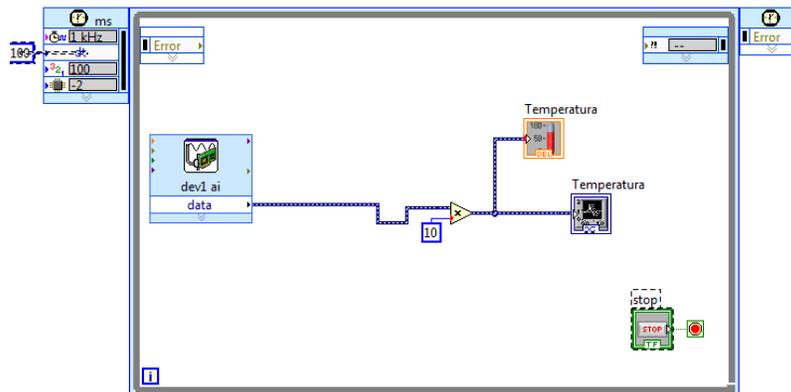


**Figura 4.57:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

$$Temp = Voltaje * 10$$

Entonces, en el programa se leerá una señal de 0 a a 10Vdc. Dicha entrada de voltaje se la multiplica por el factor 10 y se lo muestra en un visualizador de ondas, quedando el vi así como sigue:



**Figura 4.58:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

Al momento de correr el programa vamos a notar que hay mucha variación en la medición, esto es debido a que el sensor es sensible al ruido, además se tiene la desventaja de que se realiza un medición cada vez que corre el programa (1 Sample On Demand).

Actividades

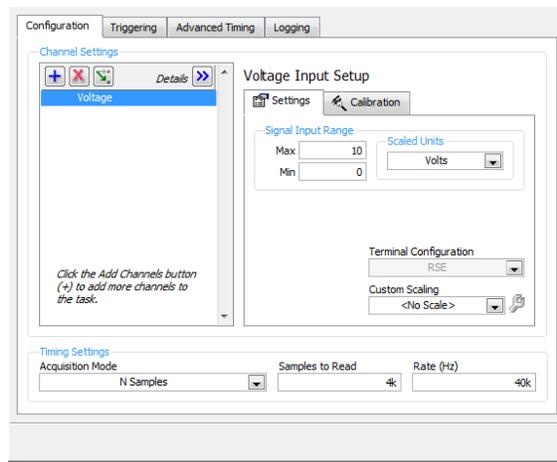
Realice el diagrama de bloques de la figura 4.58 y corra el programa.

En el siguiente recuadro, pegue la imagen de la onda resultante.



Como se puede notar en el gráfico, la forma de onda es muy variable. Una opción válida para corregir este problema es usar la técnica de promedios.

Primero se tomarán 1000 muestras cada vez que ejecute el programa, a una velocidad de 40000 muestras por segundo.

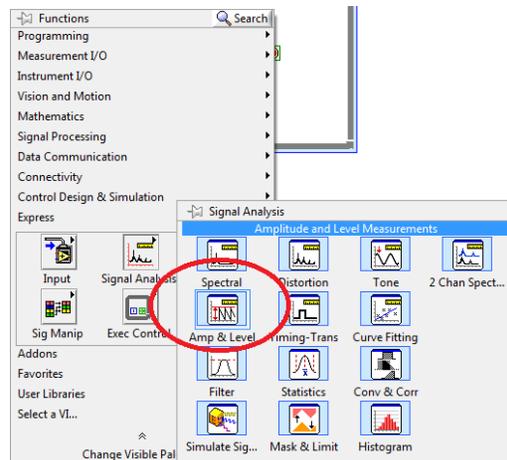


**Figura 4.59:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

Teniendo varios valores en memoria, se hace un promedio de todos y se presenta ese dato como resultado final para hacerle las conversiones necesarias y poder mostrarlo en el termómetro y en el chart.

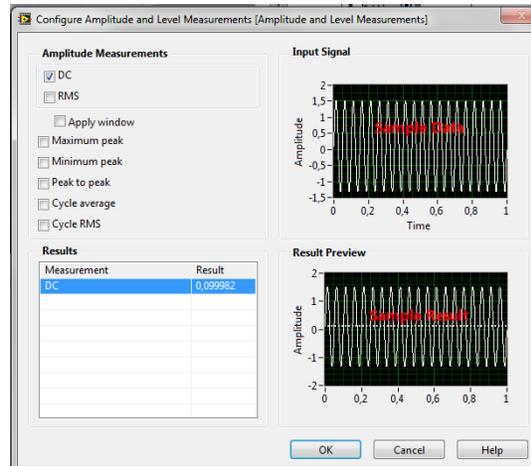
Para seleccionar el promediador nos dirigimos *Signal Analysis > Amplitude and Level Measurements*.



**Figura 4.60:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

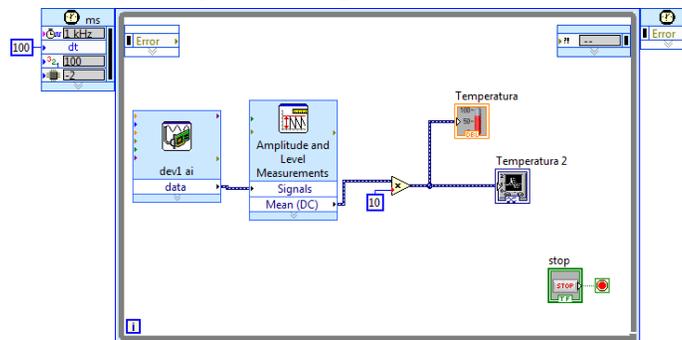
Al abrirse el mencionado cuadro de diálogo, lo configuramos para seleccionar el valor DC de la señal, ya que, al realizar esta acción obtendremos el promedio de todas las señales ingresadas.



**Figura 4.61:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

Ese promedio se le hace la misma conversión anterior, es decir, multiplicarlo por 10, y se lo presenta en el chart y en el termómetro gráfico del panel frontal.



**Figura 4.62:** Práctica 7

**Fuente:** El Autor

### Actividades

Realice el diagrama de bloques de la figura 4.62 y corra el programa.

En el siguiente recuadro, pegue la imagen de la onda resultante.



Escriba las diferencias que nota entre las dos formas de onda distintas

---

## **PRÁCTICA #8**

Control de Temperatura

### Introducción

Esta práctica nos sirve para comprender conceptos relacionados al control On/Off de temperatura y la fácil implementación en Labview.

### Objetivos

- ✓ Enviar señales de pulsos digitales para activar la resistencia calorífica y el extractor.
- ✓ Adquirir los datos analógicos de medición de temperatura.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

### Desarrollo

La práctica es similar a la anterior, la diferencia es que tendremos el control automático, mas no manual.

Se trata de un control que buscará estar en un setpoint determinado por un control numérico tipo Slide.

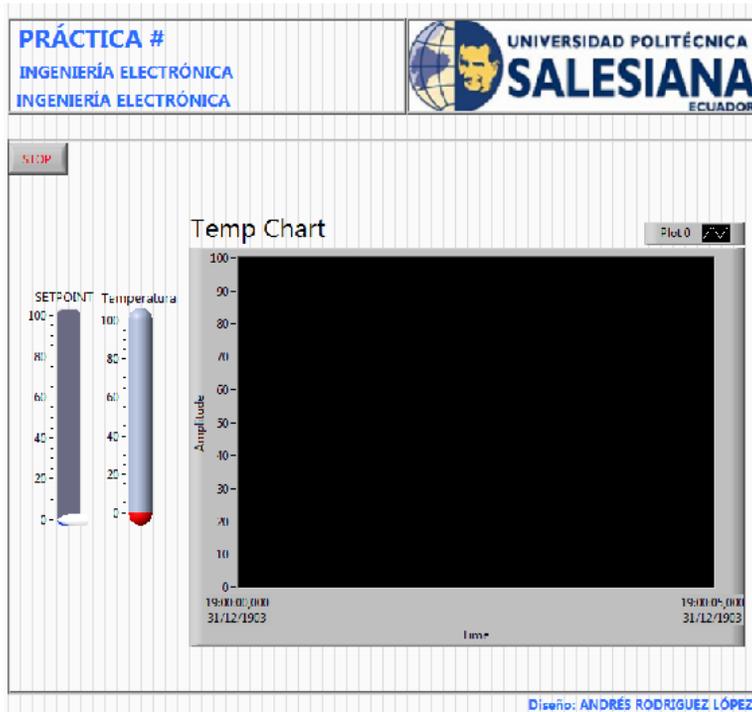
La idea básica es tratar de mantener estable el sistema en un punto determinado y que si la temperatura sobrepasa el setpoint indicado, el sistema encienda el extractor y trate de establecer la temperatura en el punto de consigna.

Para esto es necesario que al comenzar la ejecución del programa se encienda la resistencia calorífica y se apague el extractor.

Pero si la temperatura se eleva por encima del punto asignado, entonces el extractor se encenderá y se apagará dicha resistencia.

Caso totalmente contrario si la temperatura baja del punto de consigna, en este caso, el extractor se apaga y se vuelve a encender la resistencia.

En el panel frontal se seleccionará un control numérico *SLIDE* para indicar el punto de consigna de la temperatura, un indicador numérico tipo *TERMÓMETRO* y un *GRAPHIC CHART* para visualizar la temperatura exacta en ese instante de tiempo.



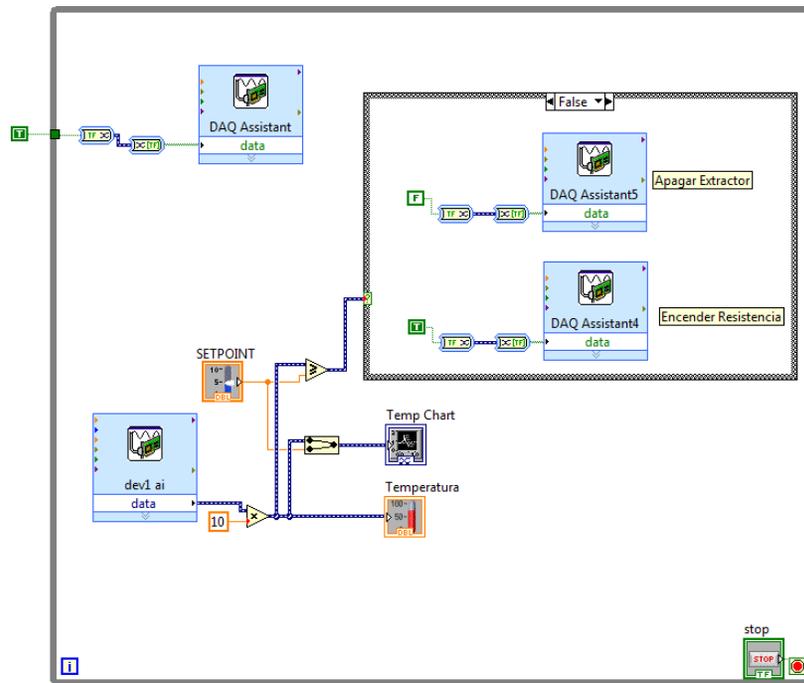
**Figura 4.63:** Panel Frontal de la Práctica 8

**Fuente:** El Autor

El diagrama de bloques es muy fácil de comprender a estas alturas del desarrollo de prácticas, ya que, se lee únicamente una señal analógica y se escribe sobre salidas digitales. Se necesita un bucle de repetición *While Loop* y una estructura de condición *Case Estructure*, para poder desarrollar el programa normalmente.

La estructura *CASE* sirve para seleccionar, en este caso particular, entre dos condiciones y ejecutar una acción diferente para cada una de ellas.

A continuación veremos el diagrama de bloques mencionado.



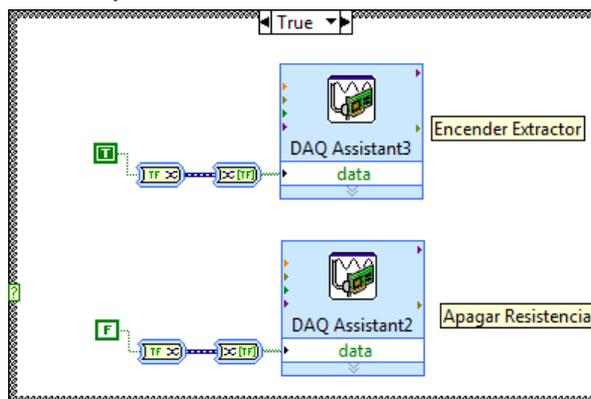
**Figura 4.64:** Diagrama de Bloques de la Práctica 8

**Fuente:** El Autor

Según nos explica el diagrama de bloques, se lee la temperatura y se la multiplica por 10 debido al factor de escala que nos brinda el transmisor. Esta temperatura se visualiza en el indicador numérico y gráfico.

Adicionalmente también se grafica el setpoint y se lo compara con el valor de temperatura.

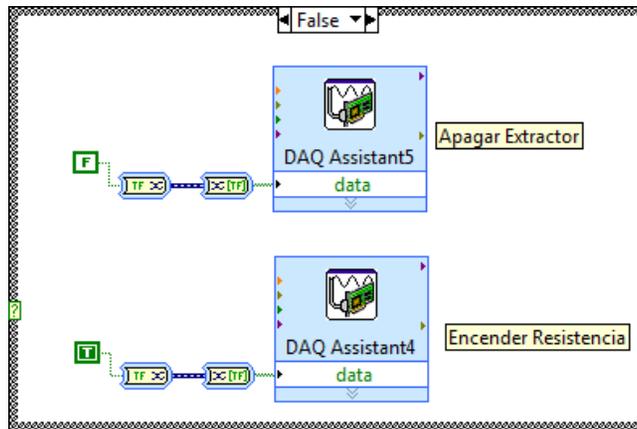
Cuando la temperatura sobrepasa el setpoint, la condición se hace verdadera, por lo tanto, en el case structure se ejecutarán las acciones que estén predefinidas en ese bloque. Dichas acciones serían apagar la resistencia y encender el extractor, para tratar de disminuir la temperatura por debajo del setpoint.



**Figura 4.65:** Condición Verdadera del Case Structure de la Práctica 8

**Fuente:** El Autor

Si la temperatura se restablece y queda por debajo del setpoint, la condición será falsa, entonces se apagará el extractor y se encenderá otra vez la resistencia para así tratar de buscar el setpoint predefinido.



**Figura 4.66:** Condición Falsa del Case Structure de la Practica 8

**Fuente:** El Autor

Actividades

Elabore una tabla de datos teóricos y prácticos, estableciendo la resistencia eléctrica brindada por la PT-100 y comparándola con los valores dados por la fórmula.

Utilice la siguiente fórmula:

$$R = R_o \cdot (1 + \alpha \Delta T)$$

Con un  $\alpha = 0,00385$ , mida la resistencia dada con la temperatura establecida y compárela con los cálculos teóricos.

Temperatura	Resistencia PT100 Valor Teórico	Resistencia PT100 Valor Práctico	%Error
20°			
30°			
35°			
40°			
45°			
50°			

Adicionalmente, tome mediciones de los voltajes en corriente directa, en la salida del transmisor de temperatura y compruébelo con la linealidad de la curva Temperatura Vs Voltaje.

Temperatura	Voltaje
20°	
30°	
35°	
40°	
45°	
50°	

## **PRÁCTICA #9**

Dimerización y medición de intensidad de luz

### Introducción

Esta práctica nos sirve para comprender conceptos relacionados al control del ángulo de fase y la fácil implementación en Labview.

### Objetivos

- ✓ Enviar señales de voltaje dc para la regulación del ángulo de fase de una carga resistiva.
- ✓ Adquirir los datos analógicos de medición de una fotocelda.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

### Desarrollo

Lo único que hay que hacer en esta práctica es regular el voltaje analógico brindado a una tarjeta de control que detectará dicho voltaje y enviará los pulsos de disparos para el Triac y así regular el ángulo de fase de una carga resistiva.

Cabe recalcar que el procedimiento para la adquisición de datos, es el mismo que las prácticas anteriores, lo que varía son los cálculos necesarios para presentar los resultados en uno u otro formato.

La idea básica del proyecto es enviar un voltaje analógico de 0 a 5Vdc y de acuerdo a eso variará la intensidad de luz que se aplica a la carga del bombillo.

Posteriormente a esto, mediante una fotocelda, se medirá dicha luminosidad y se enviará como dato analógico a la MyDAQ, la cual interpretará su valor de voltaje y mediante cálculos encontraremos el porcentaje de iluminación correspondiente.

En las siguientes imágenes se explicará en detalle el desarrollo de la práctica tratando de resaltar los puntos más importantes.

Primero trabajamos en el panel frontal, seleccionando un control numérico tipo Slide y un indicador numérico tipo Meter.

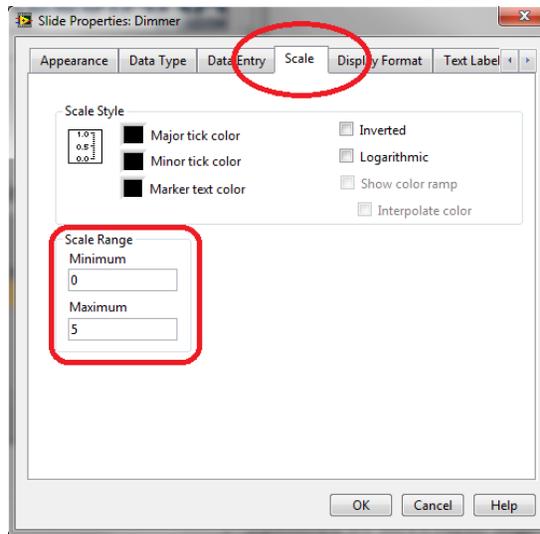
En el diagrama de bloques se procede a dibujar un lazo *While Loop*, de la misma manera que en las prácticas anteriores.

Se realiza el envío de datos respectivos a la salida analógica AO1, para regular el ángulo de fase, y a su vez, se realiza una lectura de la entrada análoga AI1+ y AI1-, que son las mismas donde está conectada la fotocelda.

### IMPORTANTE

Para evitar daños en la tarjeta electrónica de control que regula el ángulo de fase, es necesario enviar únicamente valores de voltaje comprendidos entre 0 y 10Vdc.

Para poder realizar un bloqueo en los límites es necesario ingresar a las propiedades del Slide, seleccionar *Scale* y editar el límite máximo y mínimo de la escala del control numérico.

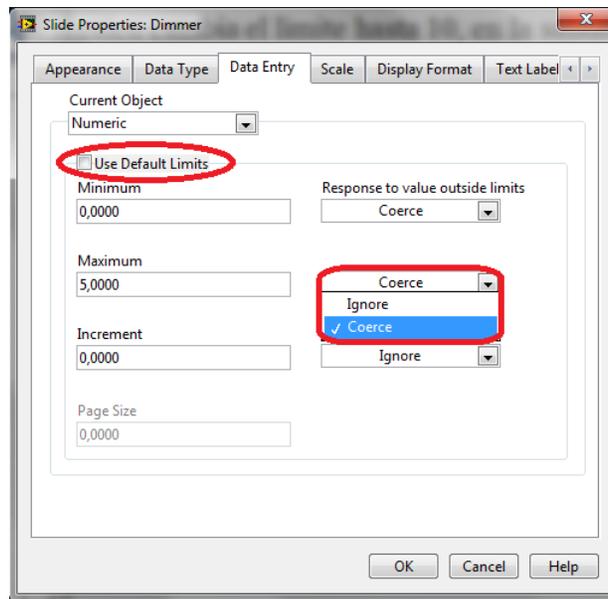


**Figura 4.67:** Práctica 9

**Fuente:** El Autor

Al editar esto hemos asegurado que no nos damos el límite permitido, pero no es lo único que debemos hacer, ya que, si alguien cambia el límite hasta 10, en la salida de voltaje analógico tendremos dicho valor, el mismo que dañará la tarjeta automáticamente.

Para evitar esto se selecciona un bloqueo adicional en la pestaña *Data Entry* del editor de controles numéricos.

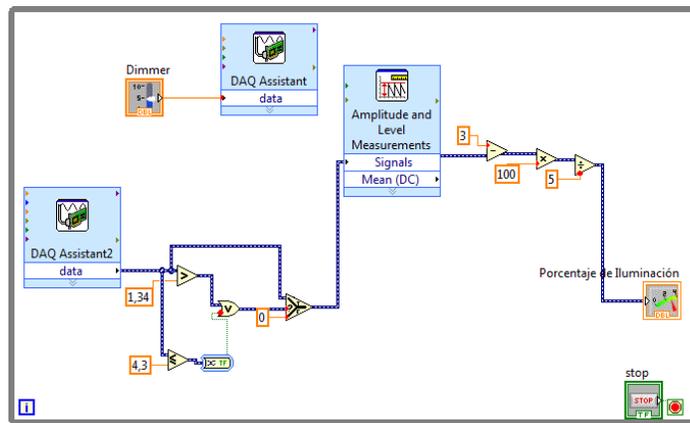


**Figura 4.68:** Práctica 9

**Fuente:** El Autor

Primero se deselecciona el CheckBox de *Use Default Limits*, y posteriormente se editan los límites permitidos. Una vez escritas las cantidades se selecciona *Coerce*, como nos indica la figura anterior.

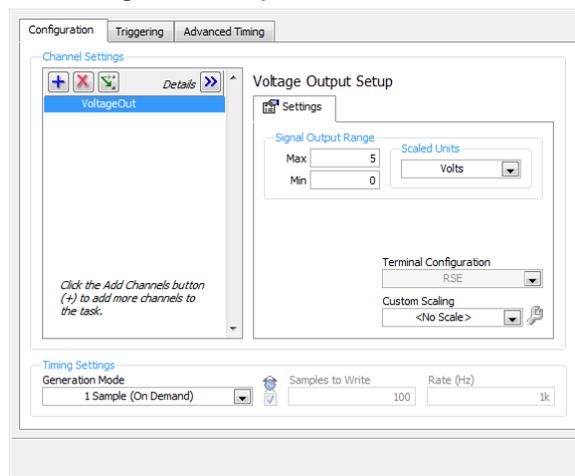
En la siguiente imagen se describe el diagrama de bloques necesario para la práctica.



**Figura 4.69:** Práctica 9

**Fuente:** El Autor

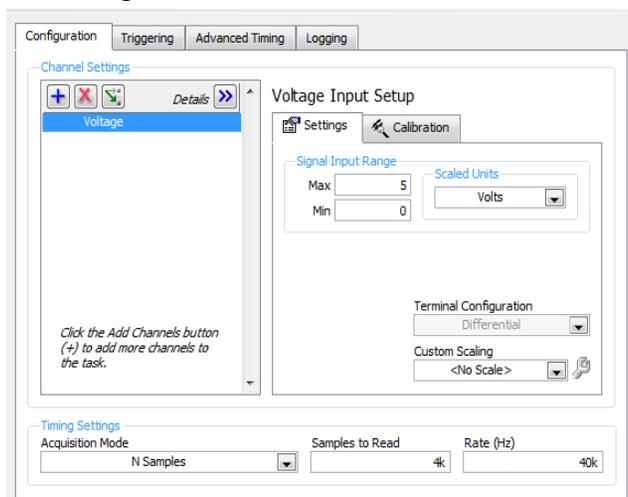
Para la escritura de datos, la configuración queda así:



**Figura 4.70:** Práctica 9

**Fuente:** El Autor

Para la lectura de datos, la configuración es así:



**Figura 4.71:** Práctica 9

**Fuente:** El Autor

### Actividades

Ejecute el VI y mida con el multímetro de la MyDAQ, el voltaje entre los terminales de la salida analógica y con otro multímetro, externo a la MyDAQ, el voltaje alterno aplicado a la carga. Realice una tabla de acuerdo a los siguientes parámetros

Salida Analógica AO1	Voltaje de Carga	Porcentaje de Iluminación
0		
0.5		
1		
1.5		
2		
2.5		
3		
3.5		
4		
4.5		
5		

¿Para ciertos porcentajes de iluminación, que valores de voltaje hay que aplicar en el slide de la salida analógica?

25% = \_\_\_\_\_

50% = \_\_\_\_\_

75% = \_\_\_\_\_

### **PRÁCTICA #10**

Filtros digitales con MyDAQ

#### Introducción

Esta práctica nos sirve para comprender conceptos relacionados a la implementación de filtros digitales en el procesamiento de señales sonoras.

#### Objetivos

- ✓ Analizar señales de sonido con NI MyDAQ.
- ✓ Experimentar con filtros digitales implementados con LabVIEW utilizando myDAQ *Audio In* y *Audio Out* para la entrada y salida de señales respectivamente, esto es, antes y después de filtrar la señal de audio de entrada.
- ✓ Comparar las diferencias entre las distintas clases de filtros digitales.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

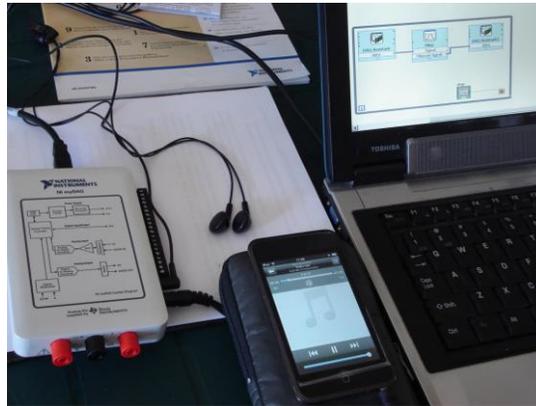
#### Desarrollo

Para la realización de esta práctica, es necesario obtener una señal audible, que puede ser brindada por la pc o por un teléfono móvil, así como también necesitamos un dispositivo de salida de señal, en este caso, unos audífonos, o parlantes.

La única característica especial es que deben ser estéreo y posibles de conectar en un Jack de 3.5 mm.

Particularmente, utilicemos un celular como una fuente de audio, por lo tanto, se la conectará en el Jack de AUDIO IN.

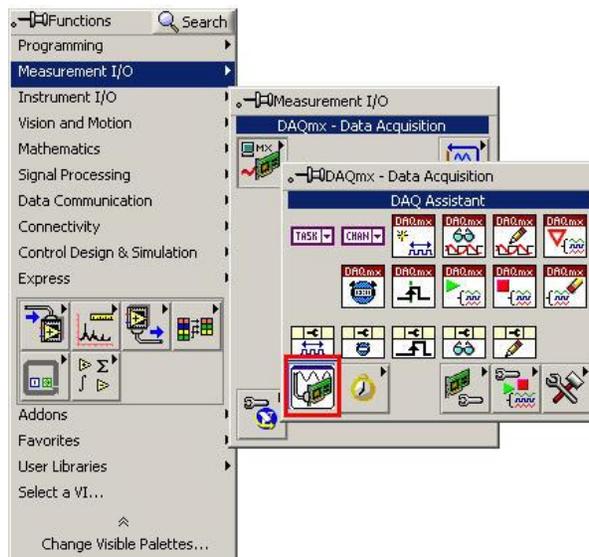
Los parlantes de escritorio o las bocinas se las conectará a través del puerto AUDIO OUT.



**Figura 4.72:** MyDAQ conectado a un reproductor de mp3 y audífonos a Audio In y Audio Out respectivamente.

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

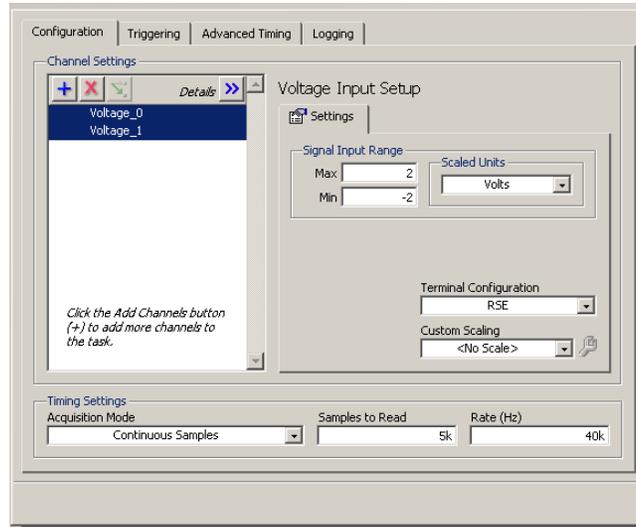
Inserte un DAQ Assistant para adquirir y otro para enviar señales de audio.



**Figura 4.73:** Práctica 10

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

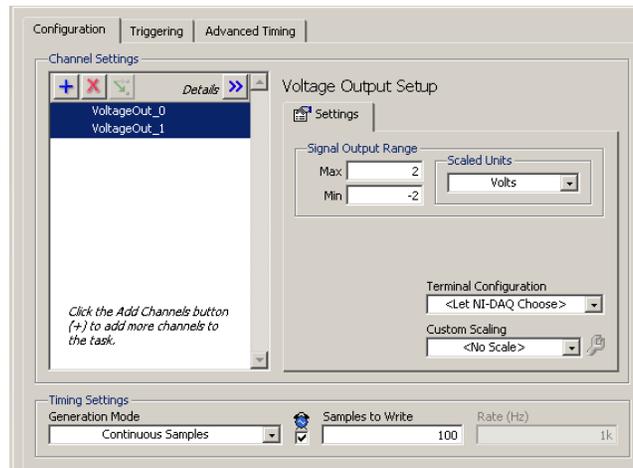
La configuración del AUDIO IN se da así:



**Figura 4.74:** Configuración AUDIO IN

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

Por consiguiente, la configuración del AUDIO OUT es:



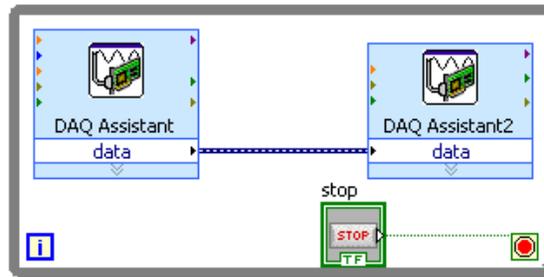
**Figura 4.75:** Configuración AUDIO OUT

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

Si unimos directamente el AUDIO IN con el AUDIO OUT, dentro de un bucle *While Loop*, en los altavoces tendremos el mismo sonido de la señal de entrada debido a que no se ha aplicado ninguna modificación.

Según (VEGA PINEDA), en su tutorial de Adquisición de Datos, para el Instituto Tecnológico de Chihuahua, dice que:

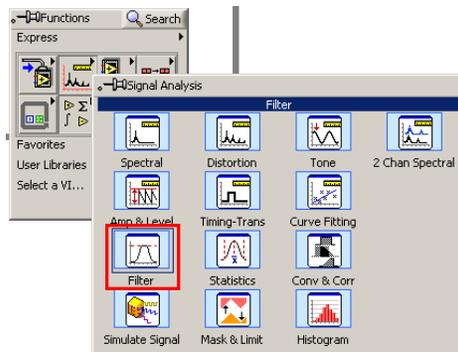
“La señal que se reproduce en el MP3 se alimenta a myDAQ pasa a LabVIEW y sale de myDAQ a los audífonos. Esto se conoce como *Pass-Through* (Paso-Directo).”



**Figura 4.76:** Configuración AUDIO OUT

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

Sin embargo, los objetivos de la práctica son otros. Debemos agregarle un filtro digital de una manera rápida y sencilla.

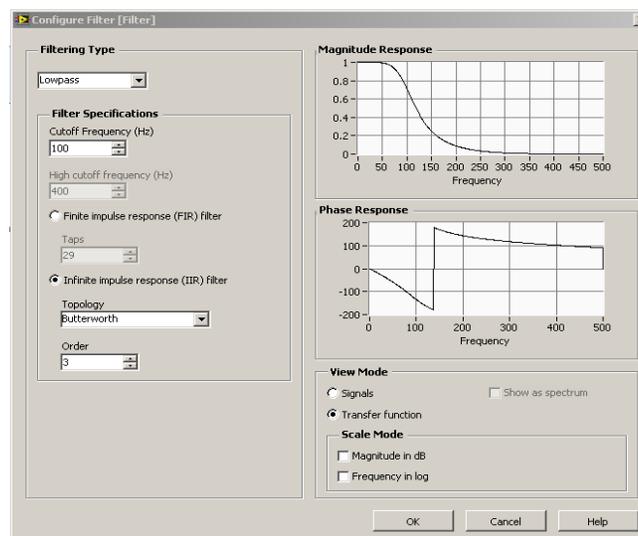


**Figura 4.77:** Adición del filtro digital en el VI

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

Al seleccionar *Signal Analysis > Filter*, se abre un cuadro de diálogo, donde podremos editar los parámetros de ajuste a nuestra conveniencia y escuchar la respuesta física real.

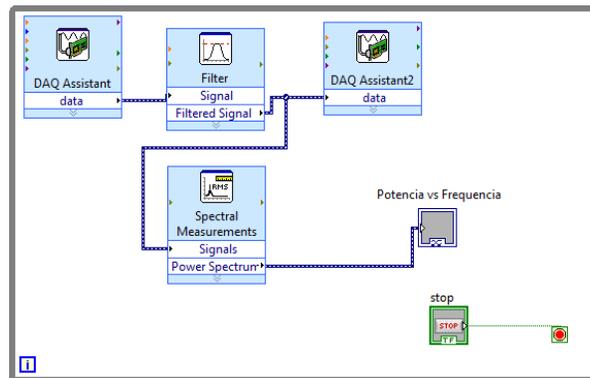
Se abre la configuración del filtro y le indicamos que queremos un filtro tipo IIR Butterworth de 3er orden con frecuencia de corte de 100Hz.



**Figura 4.78:** Ventana de configuración del FILTER

**Fuente:** (VEGA PINEDA) Prácticas DAQ

Hay que configurar nuevamente los DAQ Assistant, dejando al de entrada, según la manera de adquisición de datos, como Muestras continuas, 10000 muestras por segundo a una velocidad de 100000 Hz.



**Figura 4.79:** Diagrama de Bloques Final de la Práctica 10

**Fuente:** El Autor

### Recomendaciones

Estas recomendaciones fueron tomadas de un libro de apuntes tecnológicos del Instituto de Chihuahua, del Dr. Javier Vega Pineda.

### Posibilidades en el diseño de filtros digitales con el VI Express de Filter.

Es posible definir los dos tipos generales de filtros digitales: FIR (Finite Filter Response) e IIR (Infinite Impulse Response).

Para filtros FIR tenemos las opciones:

- Pasa bajas (Lowpass)
- Pasa altas (Highpass)
- Pasa banda (Bandpass)
- Rechaza banda (Bandstop)
- Suavizado (Smoothing)

El filtro de suavizado de tipo FIR también es conocido como filtro de promedios móviles (Moving Average Filter). Cuando se trabaja con filtros FIR de suavizado existen dos posibilidades de selección en cuanto a los valores que tendrán los coeficientes del filtro. La primera opción es **Rectangular** en la cual todos los coeficientes tendrán el mismo valor y la segunda es **Triangular** en la cual los coeficientes tendrán un valor máximo en el coeficiente central y decrecerá hacia los extremos. En el caso de los filtro FIR hay que definir el número de taps (default es 29).

En Half-width of moving average se define el número de coeficientes del filtro. El valor seleccionado (M) define un filtro con  $N = 2M+1$  coeficientes (impar).

Para filtros IIR tenemos las opciones:

- Pasa bajas (Lowpass)
- Pasa altas (Highpass)
- Pasa banda (Bandpass)
- Rechaza banda (Bandstop)
- Suavizado (Smoothing)

### Actividades

Seleccione una fuente de audio de su preferencia y comience a cambiar los valores de los filtros digitales.

Seleccione el filtro PasaBaja.

Luego, seleccione el filtro PasaAlta.

Posteriormente, seleccione el filtro PasaBanda con frecuencias de corte 100Hz y 300Hz, inferior y superior, respectivamente.

Compruebe los resultados.

Escriba las diferencias que noto al aplicar distintos tipos de filtros.

---

---

---

---

---

### Desafío

Realice el filtrado de señales de audio provenientes de Windows.

Analice las señales de audio con un diagrama de Bode.

### **PRÁCTICA #11**

Control de Volumen

#### Introducción

Esta práctica nos sirve para comprender conceptos relacionados al manejo de señales de audio con la NI MyDAQ.

#### Objetivos

- ✓ Analizar señales de sonido con NI MyDAQ.
- ✓ Desarrollar un sistema de control de volumen sonoro para las señales de audio ingresadas en un sistema estéreo.
- ✓ Analizar la importancia de implementación de nuevas tecnologías en el campo industrial.

#### Desarrollo

Para poder desarrollar esta práctica necesitamos los mismos elementos de la práctica anterior, una señal audible de entrada y un dispositivo de salida sonora, en ambos casos deben ser configuración estéreo.

La idea básica de esta práctica es poder tener control sobre el volumen de la señal de audio, y al ser un canal estéreo, también tener control sobre el volumen izquierdo o derecho, según sea el caso, por lo que primero pondremos dos controles numéricos tipo *Slide*, los que nos van a permitir editar los valores para aumentar o reducir la intensidad sonora de uno u otro canal.

### Control de Volumen



**Figura 4.80:** Práctica 11

**Fuente:** El Autor

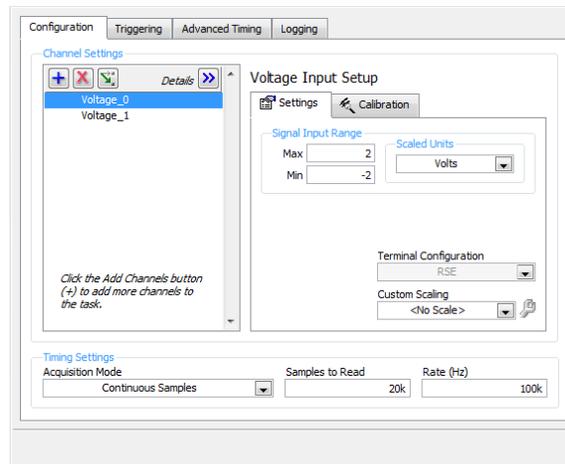
Posteriormente, seleccionamos el DAQ Assistant para adquirir señales analógicas de voltaje. Al aparecer la lista de entradas analógicas tendremos dos entradas de audio.

*Analog Input Left*

*Analog Input Right*

Lo ideal es seleccionar ambos canales debido a que tendremos un sistema estéreo.

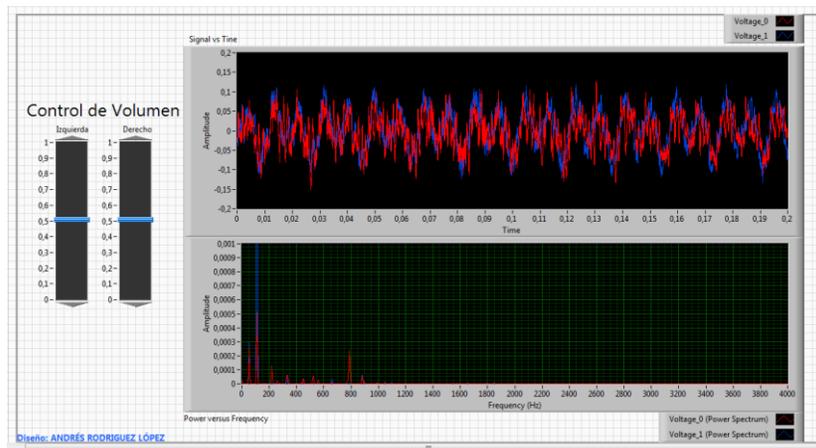
Al seleccionar estos canales analógicos, debemos configurarlo con las siguientes características:



**Figura 4.81:** Práctica 11

**Fuente:** El Autor

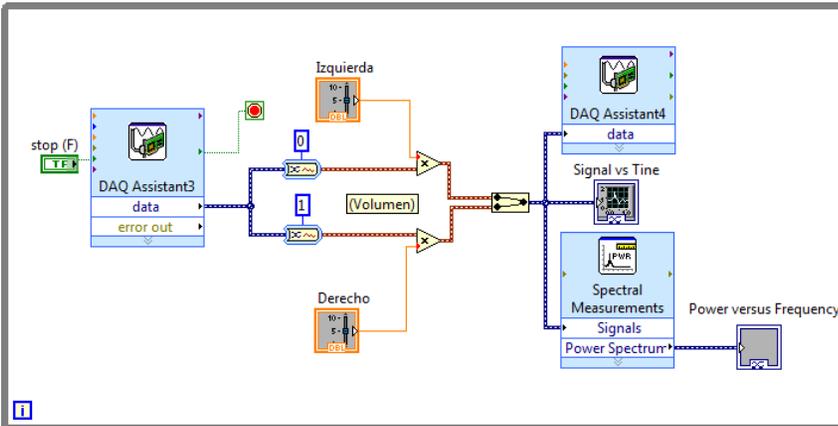
Posteriormente, en el panel frontal pondremos 2 *Graphics Chart*, para visualizar las señales de audio, tanto de amplitud vs tiempo, como amplitud vs frecuencia.



**Figura 4.82:** Práctica 11

**Fuente:** El Autor

Con esto, el diagrama de bloques nos queda de la siguiente manera:



**Figura 4.83:** Práctica 11

**Fuente:** El Autor

Nótese que separamos ambos canales con el convertidor de DDT a Single Waveform y se multiplica cada onda por un control tipo *Slide*, para poder tener control sobre el volumen de cada canal particularmente.

Posteriormente, se vuelven a combinar con un *Merge Signals* y nos expulsa un dato dinámico, y lo enviamos a la salida de audio, a un *Graphic Chart* y a un bloque *Spectral Measurement*, para medir el espectro de potencia y mostrarlo en el otro *Graphic Chart*.

### Actividades

Con el NI ELVISmx Instruments Launcher, cree una onda arbitraria, ingrésela en un canal de audio y verifique su onda en el gráfico.

Con el NI ELVISmx Instruments Launcher genere un diagrama de Bode de las ondas resultantes.

## REFERENCIA

- AMÉSTEGUI, M. (2001, Enero). *Apuntes de Control PID*. La Paz, Bolivia.
- ARIAN. (2011). *PT-100, Operación e Instalación*. Santiago de Chile.
- Arian, Control & Instrumentación. (2011). *Control PID, Conceptos Básicos*. Santiago de Chile.
- BARCOJO, A. R. (s.f.). Encoders. *Control y Robótica; Sensores*.
- BONOMI srl. (s.f.). *Resistencias Eléctricas*. Obtenido de <http://www.bonomi-resistencias.com.ar/resistenciaselectricasaletadas.html>
- COUGHLIN-DRISCOLL, R. (s.f.). *Amplificadores Operacionales y Circuitos Integrados Lineales*. Prentice Hall.
- CREUS, A. (2000). *Instrumentación Industrial*. Alfaomega.
- CREUS, A. (2006). *Instrumentación Industrial*. Barcelona, España: Alfaomega, Marcombo.
- Datalights. (2009). *Manual de Usuario EPC*. Cuenca.
- Diamore. (s.f.). *Resistencias para la industria*. Obtenido de <http://www.diamoresa.com.ar/Blindadas.html>
- ELTRA. (s.f.). Encoder Incremental. *Sensores y Transductores*.
- FRAILE, J. (2003). *Máquinas Eléctricas*. Mc Graw Hill.
- GOMEZ, V. (s.f.). Universidad de Concepción. *Controladores PID*. Concepción, Chile.
- Infopl.net. (s.f.). *InfoPLC*. Obtenido de [www.infopl.net](http://www.infopl.net)
- LAJARA, J. R. (2009). *Labview, Entorno Gráfico de Programación*. España: Alfaomega.
- Liptak, B. (s.f.). *Instrument Engineers Handbook*.
- Maraña, J. C. (s.f.). *Instrumentación y Control de Procesos*.
- MATHWORKS. (2012). Control PID. *MATLAB, Control PID*. MATLAB.
- MAZZONE, V. (2002, Marzo). *Controladores PID*. Quilmes.
- MAZZONE, V. (2009, Marzo). *Controladores PID*. Quilmes.
- MORILLA, F. (11 de Enero de 2007). *Controladores PID*. Recuperado el 16 de Octubre de 2012, de <http://www.dia.uned.es/~fmorilla/MaterialDidactico/EI%20controlador%20PID.pdf>
- NATIONAL INSTRUMENTS. (2009, Junio). *LabVIEW PID and Fuzzy Logic Toolkit*. Texas, USA.
- National Instruments. (2011). Datasheet. *MyDAQ, Manual del Usuario*.
- National Instruments. (2011). [www.ni.com](http://www.ni.com). Obtenido de <http://www.ni.com/mydaq/esa/specifications.htm>
- National Instruments. (7 de Enero de 2011). [www.ni.com/latam](http://www.ni.com/latam). Obtenido de <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/347064BB2D9F168686257760004F06BF?OpenDocument>
- National Instruments. (16 de Febrero de 2012). [www.ni.com](http://www.ni.com). Obtenido de DEVELOPER ZONE: <http://www.ni.com/white-paper/3643/es>
- OGATA, K. (2009). *Ingeniería de Control Moderna*. Pearson.
- PIEDRAFITA, R. (2009). *Ingeniería de la Automatización Industrial*. Madrid: Alfaomega.
- POLKA, D. (s.f.). *Joliet Technologies*. Recuperado el 19 de Junio de 2012, de [http://www.joliettech.com/what\\_is\\_a\\_variable\\_frequency\\_drive-how\\_vfd\\_works.htm](http://www.joliettech.com/what_is_a_variable_frequency_drive-how_vfd_works.htm)
- ROLDÁN, José. (2008). *Motores Eléctricos, Automatismos de Control*. Madrid: Paraninfo.

SIEMENS. (2010). Convertidores de Frecuencia Descentralizados. *SINAMICS Drives*, 55.

SIEMENS. (Julio, 2005). Sinamics G110. *Guía rápida de inicio*.

Srl, B. (s.f.). *Resistencias Eléctricas*. Recuperado el 2012, de <http://www.bonomi-resistencias.com.ar/resistenciaselectricasaletadas.html>

VEGA PINEDA, J. (s.f.). *Prácticas DAQ*. Chihuahua: Instituto Tecnológico de Chihuahua.

Wikipedia. (s.f.). *Wikipedia*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/Fotorresistencia>

Wikipedia. (s.f.). *www.wikipedia.com*. Obtenido de <http://es.wikipedia.org/wiki/RTD>

# ANEXOS

## Anexo 1: Lista de Parámetros del Sinamics G110 Puesta en Servicio Rápida

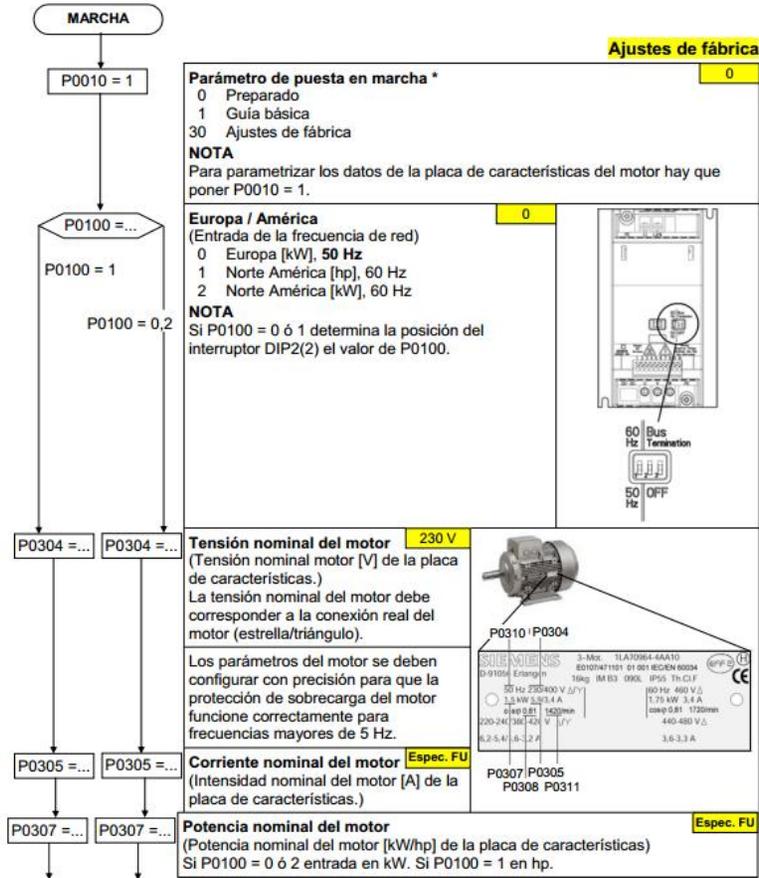


Figura A1: Lista de parámetros para el Sinamics G110

Fuente: Siemens

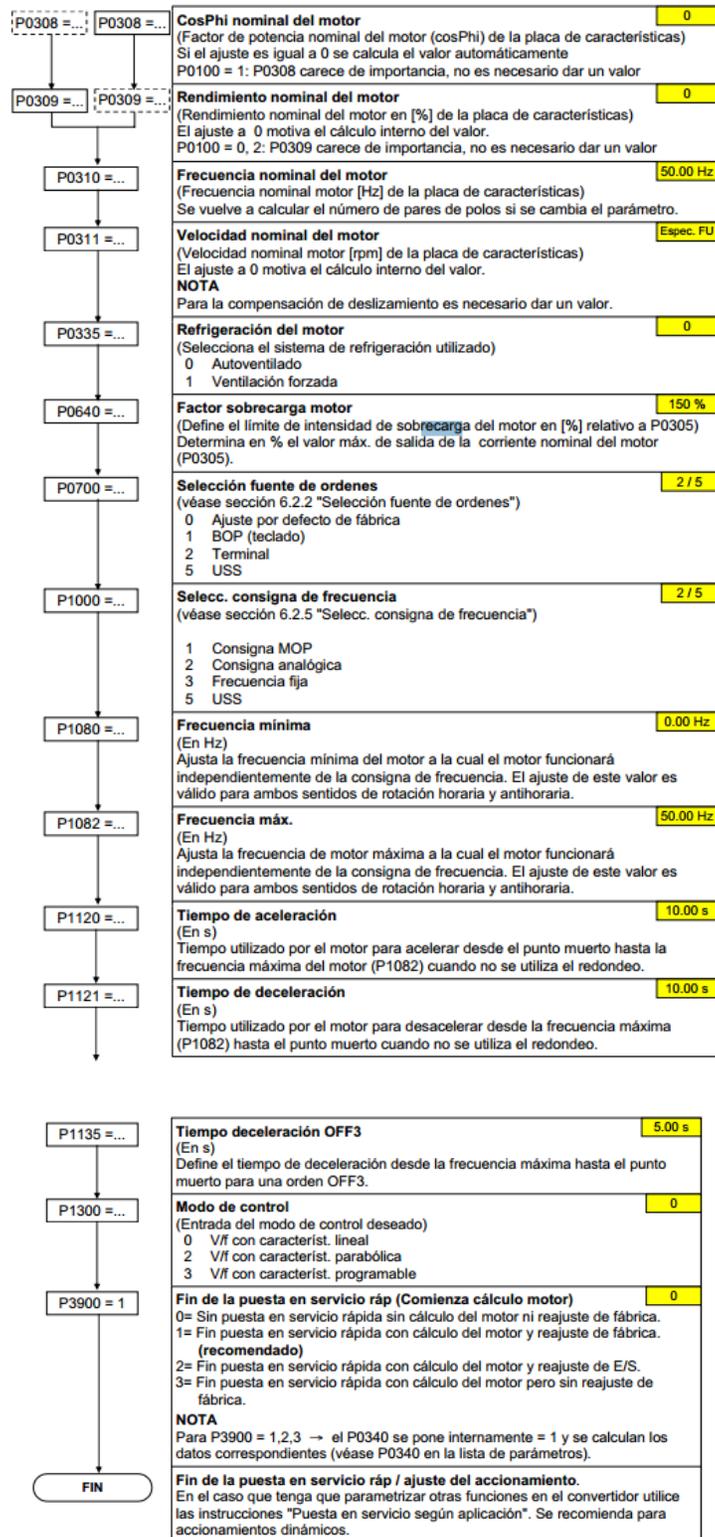
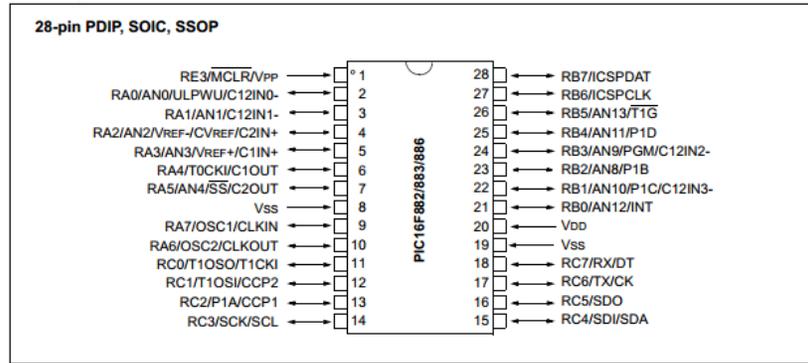


Figura A2: Lista de parámetros para el Sinamics G110 2

Fuente: Siemens

## Anexo 2: Datasheet PIC 16f886



**Figura A3:** Datasheet del Pic16f886

**Fuente:** Microchip

Registro INTCON para interrupciones.

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-x
GIE	PEIE	TOIE	INTE	RBIE <sup>(1,3)</sup>	TOIF <sup>(2)</sup>	INTF	RBIF
bit 7							bit 0

Legend:			
R = Readable bit	W = Writable bit	U = Unimplemented bit, read as '0'	
-n = Value at POR	'1' = Bit is set	'0' = Bit is cleared	x = Bit is unknown

bit 7	<b>GIE:</b> Global Interrupt Enable bit 1 = Enables all unmasked interrupts 0 = Disables all interrupts
bit 6	<b>PEIE:</b> Peripheral Interrupt Enable bit 1 = Enables all unmasked peripheral interrupts 0 = Disables all peripheral interrupts
bit 5	<b>TOIE:</b> Timer0 Overflow Interrupt Enable bit 1 = Enables the Timer0 interrupt 0 = Disables the Timer0 interrupt
bit 4	<b>INTE:</b> INT External Interrupt Enable bit 1 = Enables the INT external interrupt 0 = Disables the INT external interrupt
bit 3	<b>RBIE:</b> PORTB Change Interrupt Enable bit <sup>(1,3)</sup> 1 = Enables the PORTB change interrupt 0 = Disables the PORTB change interrupt
bit 2	<b>TOIF:</b> Timer0 Overflow Interrupt Flag bit <sup>(2)</sup> 1 = TMR0 register has overflowed (must be cleared in software) 0 = TMR0 register did not overflow
bit 1	<b>INTF:</b> INT External Interrupt Flag bit 1 = The INT external interrupt occurred (must be cleared in software) 0 = The INT external interrupt did not occur
bit 0	<b>RBIF:</b> PORTB Change Interrupt Flag bit 1 = When at least one of the PORTB general purpose I/O pins changed state (must be cleared in software) 0 = None of the PORTB general purpose I/O pins have changed state

- Note 1:** IOCB register must also be enabled.  
**Note 2:** TOIF bit is set when Timer0 rolls over. Timer0 is unchanged on Reset and should be initialized before clearing TOIF bit.  
**Note 3:** Includes ULPWU interrupt.

**Figura A4:** Registro de Interrupciones del Pic 16f886

**Fuente:** Microchip

**Anexo 3:** Encuesta realizada a estudiantes de 6to a 10mo semestre.

**Datos Preliminares**

Población total encuestada: 46 estudiantes

Modelo de Encuesta:

Nombre:	
Carrera:	
Semestre:	

**PLANTA ELECTRÓNICA PARA ENTRENAMIENTO DE SISTEMAS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN**

Según lo expuesto sobre este tema de tesis, favor resaltar las observaciones pertinentes.

Observaciones sobre el módulo	
¿Cree que el módulo está completo para practicar sistemas de control?	Si ( ) No ( )
¿Ha incursionado a realizar Controladores PID de cualquier proceso anteriormente?	Si ( ) No ( )
¿Cree usted que la planta electrónica permite que los estudiantes alcancen un mayor desarrollo en sus capacidades creativas?	Si ( ) No ( )
¿Ha realizado Control por Histéresis de cualquier proceso anteriormente?	Si ( ) No ( )
¿Cree usted que la planta electrónica refuerce conceptos de Teoría de Control, Automatismo e Instrumentación?	Si ( ) No ( )
¿Prefiere prácticas realizadas sobre el módulo o irlas realizando paso a	Realizadas ( ) Laboratorio ( )

paso en el laboratorio?	
Considera que Labview es el programa idóneo para el proceso de enseñanza-aprendizaje en la academia de Ingeniería.	Si ( ) No ( )
Adicionaría algo al proyecto. Si la respuesta es afirmativa, ¿Que sería?	Si ( ) No ( ) _____ _____ _____

**Tabulación de Datos:**

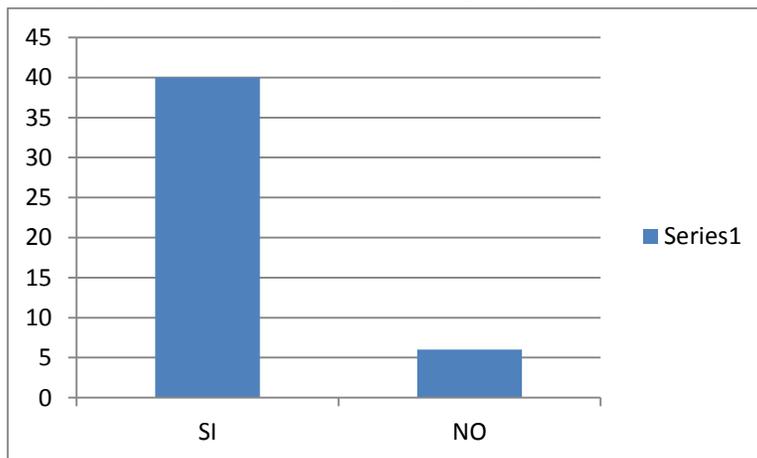
Según la encuesta realizada a un grupo selecto de estudiantes, de sexto a décimo semestre, que asistieron a una charla demostrativa de la planta electrónica en acción, se recolectaron los siguientes datos según el modelo de encuesta diseñado.

- Observaciones sobre el módulo
 

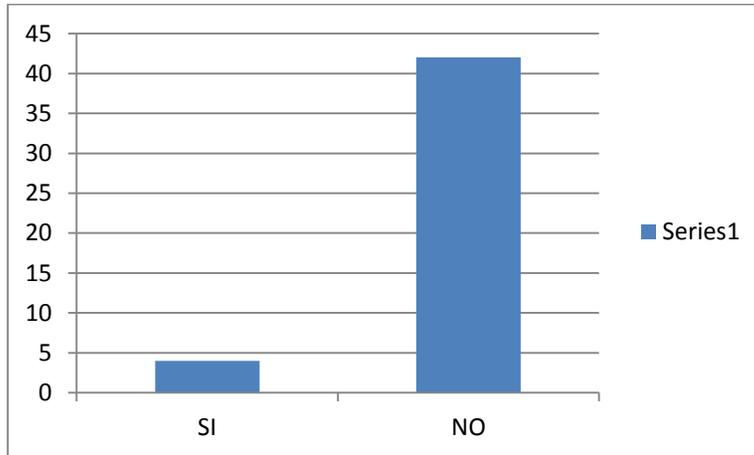
En observaciones generales, los estudiantes encuestados mencionan que les parece atractiva la interacción de procesos industriales con sistemas de instrumentación virtual.

Además se mencionó que es una herramienta muy completa para desarrollar sus propios sistemas de control y observar su aplicación en la vida práctica.

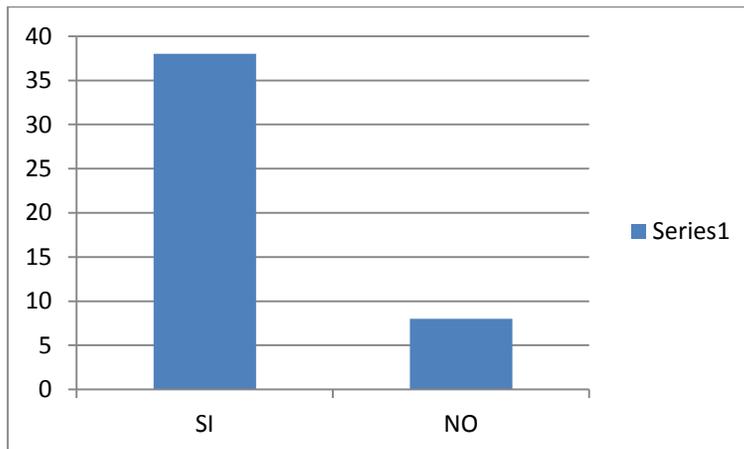
Una parte de los encuestados recalcan que es también útil para el aprendizaje de adquisición de datos en Labview.
- ¿Cree que el módulo está completo para practicar sistemas de control?



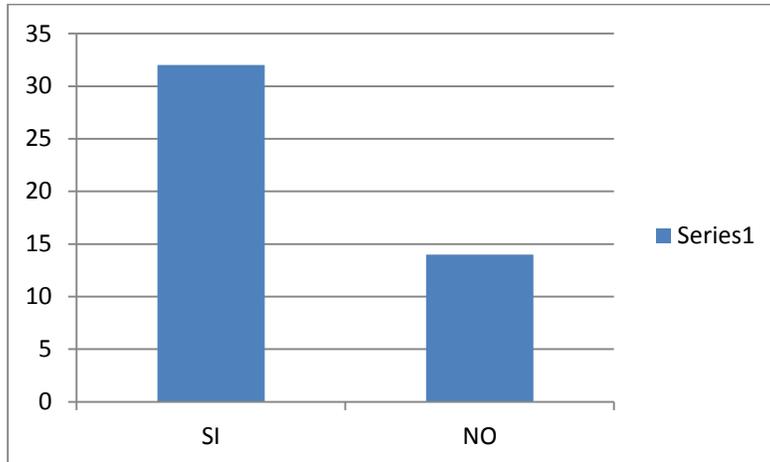
- ¿Ha incursionado a realizar Controladores PID de cualquier proceso anteriormente?



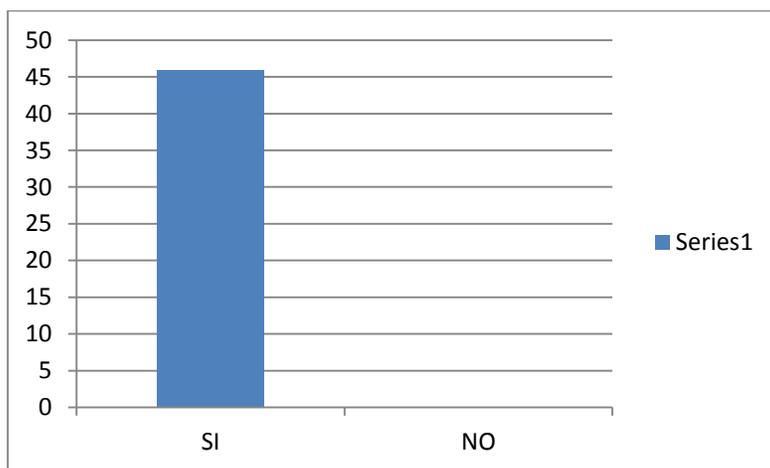
- ¿Cree usted que la planta electrónica permite que los estudiantes alcancen un mayor desarrollo en sus capacidades creativas?



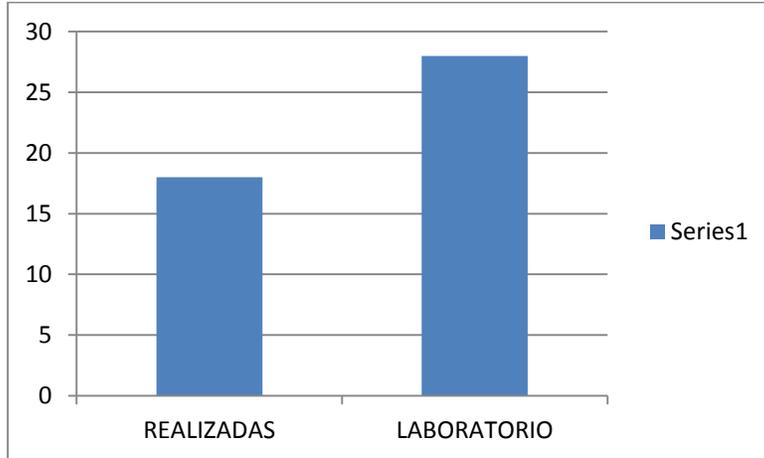
- ¿Ha realizado Control por Histéresis de cualquier proceso anteriormente?



- ¿Cree usted que la planta electrónica refuerce conceptos de Teoría de Control, Automatismo e Instrumentación?



- ¿Prefiere prácticas realizadas sobre el módulo o ir las realizando paso a paso en el laboratorio?



- Considera que Labview es el programa idóneo para el proceso de enseñanza-aprendizaje en la academia de Ingeniería.

