

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



**IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE CONTROL DE RAZÓN CON UN
CONTROLADOR PI PARA CONTROLAR LA PROPORCIÓN DE MEZCLADO
DE DOS FLUJOS**

TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADA POR

Bach. DELGADO POLO, CARLOS DAVID
Bach. QUINTE POMALAYA, JAVIER OLIVER

Asesor: Dr. HUAMANÍ NAVARRETE, PEDRO

LIMA - PERÚ

2018

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, que me enseñaron la importancia del estudio a lo largo de mi vida, por su apoyo incondicional y su dedicación por mi formación en mi etapa de universitario.

Carlos Delgado Polo

Esta tesis se lo dedico a Dios por su inmenso amor y por estar a mi lado en cada paso que doy, a mi padre Rubén Quinte, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación profesional y por ser el guía en mi camino al éxito profesional.

A mi madre Zoraida Pomalaya, por su apoyo incondicional, por su amor, sus consejos, por sus palabras de aliento, por haberme formado como un hombre de bien y por siempre brindarme lo necesario para poder lograr mis metas. A mis hermanos, Teresa y Jaime, por ser mis compañeros de aprendizaje y amigos.

A ellos, dedico esta tesis, por siempre alentarme a ser mejor cada día, por ayudarme a superar cada error y depositar en mí, su confianza y comprensión.

Javier Quinte Pomalaya

AGRADECIMIENTO

Nuestro sincero agradecimiento a nuestra facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma, por darnos la oportunidad de aprender y formarnos como profesionales. A nuestro asesor Pedro Huamaní y a los trabajadores del laboratorio de control, por su apoyo en el periodo de desarrollo de la tesis.

Carlos Delgado y Javier Quinte

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos	3
1.1.1 Problema General	3
1.1.2 Problemas Específicos	3
1.2 Objetivos general y específicos.....	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temático	5
1.3.1 Teórica.....	5
1.3.2 Económica	5
1.3.3 Espacial.....	5
1.4 Justificación e importancia.....	5
1.5 Tipo y método de investigación	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes del estudio de investigación.....	7
2.2 Selección de variables	9
2.2.1 Variable independiente	9
2.2.2 Variable dependiente	9
2.3 Bases teóricas	10
2.3.1 Control de Razón:.....	10
2.3.2 Controlador PID	11
2.3.3 Sintonización por prueba y error	13
2.3.4 Medición de flujo tipo turbina.....	15
2.3.5 Electroválvula Proporcional.	18
2.3.6 Sintonización por Ziegler y Nichols.....	20

2.3.7 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)	21
2.3.8 Bomba de Agua	23
2.3.9 Variador de Velocidad.....	24
2.4 Definición de términos básicos	26
CAPÍTULO III: DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL DE RAZÓN	27
3.1 Dimensionamiento del Módulo de control de Razón.....	27
3.2 Configuración de la DAQ para interface.....	31
3.3 Comunicación Labview – Electroválvula	35
3.4 Comunicación Labview – Transmisores de Flujo.....	36
3.5 Implementación del control de razón con el controlador PI	37
3.5.1 Control de Razón.....	37
3.5.2 Control PI	37
3.6 Sintonización del controlado PI	39
3.6.1 Sintonización por Ziegler y Nichols.....	39
3.6.2 Sintonización por variante del método por Prueba y Error	41
CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS	43
4.1 Análisis del resultado con SP1	43
4.2 Análisis del resultado con SP2.....	45
4.3 Análisis del resultado con SP3.....	47
4.4 Análisis del resultado con SP1 y perturbación.....	48
4.5 Análisis del resultado con SP2 y perturbación.....	50
4.6 Análisis del resultado con SP3 y perturbación.....	51
4.7 Comparaciones finales	52
4.8 Cuadro de funcionamiento de la electroválvula.....	54
4.9 Tabla de costo	54
CONCLUSIONES	56
RECOMENDACIONES.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXOS	61
Anexo 1: Hoja técnica Datacolor Match Pigment.....	62
Anexo 2: Hoja técnica de Flujómetro tipo turbina Fotek KTM.....	64

Anexo 3: Hoja técnica de la electroválvula proporcional marca Danfoss AME 435	67
Anexo 4: Guía de usuario NI USB-6008/6009	68
Anexo 5: Manual de usuario Micromaster 420 SIEMENS	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Control de Relación.....	11
Figura N° 2: Diagrama de bloques.....	11
Figura N° 3: Ajuste de banda proporcional.....	14
Figura N° 4: Ajuste de acción integral.....	15
Figura N° 5: Flujómetro de rueda de paletas FOTEK.....	17
Figura N° 6: Flujómetro Fotek KTM.....	18
Figura N° 7: Partes de una electroválvula.....	19
Figura N° 8: Electroválvula Danfoss.....	20
Figura N° 9: Partes de tarjeta de adquisición de datos.....	21
Figura N° 10: Terminales de entradas y salidas analógicas.....	22
Figura N° 11: Bomba de agua.....	23
Figura N° 12: Variador de velocidad Siemens.....	25
Figura N° 13: Esquema del módulo para controlar la proporción de mezclado de dos flujos	27
Figura N° 14: Diagrama PI & D.....	28
Figura N° 15: Modulo Implementado.....	30
Figura N° 16: Diagrama de flujo de proceso.....	30
Figura N° 17: Captura de imagen del Labview.....	31
Figura N° 18: Captura de imagen de DAQ Assist.....	32
Figura N° 19: Inicio de la programación.....	32
Figura N° 20: Selección de tipo de señal.....	33
Figura N° 21: Selección de puertos.....	34
Figura N° 22: Configuración de Canal Agregado.....	34
Figura N° 23: Circuito de acondicionamiento de input: 5v a output: 10v.....	35
Figura N° 24: Programación de la comunicación Labview – Válvula.....	36
Figura N° 25: Programación de Labview - Transmisores de flujo.....	36
Figura N° 26: Control de Razón.....	37
Figura N° 27: Bloque PID.....	38
Figura N° 28: Programación del Diagrama de bloques del Labview.....	38
Figura N° 29: Panel frontal de la programación del Labview.....	39
Figura N° 30: Sintonización por Ziegler y Nichols-Labview.....	40
Figura N° 31: Sintonización del controlador PI por Ziegler y Nichols-Labview.....	40
Figura N° 32: Sintonización por Prueba y Error -Labview.....	41
Figura N° 33: Sintonización de control PI por Prueba y Error -Labview.....	41
Figura N° 34: SP1=7 LPM.....	43
Figura N° 35: Tanque de mezcla con SP1=7 LPM.....	44
Figura N° 36: Resultado del proceso con un SP1= 7 LPM.....	44
Figura N° 37: SP2= 5 LPM.....	45
Figura N° 38: Tanque de mezcla con SP2=5 LPM.....	46

Figura N° 39: Resultado del proceso con un SP2= 5 LPM.....	46
Figura N° 40: SP3=3 LPM.....	47
Figura N° 41: Tanque de mezcla con SP3=3 LPM.....	48
Figura N° 42: Resultado del proceso con un SP3= 3 LPM.....	48
Figura N° 43: SP1=7 LPM con presencia de perturbación.....	49
Figura N° 44: Resultado del proceso con un SP1= 7 LPM con presencia de perturbación.....	49
Figura N° 45: SP2=5 LPM con presencia de perturbación.....	50
Figura N° 46: Resultado del proceso con un SP2= 5 LPM con presencia de perturbación.....	51
Figura N° 47: SP3=3 LPM con presencia de perturbación.....	51
Figura N° 48: Resultado del proceso con un SP3= 3 LPM con presencia de perturbación.....	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Valores de Ziegler y Nichols	21
Tabla N° 2: Descripción de entradas y salidas analógicas (continúa).....	22
Tabla N° 3: Valores sin presencia de perturbación.....	53
Tabla N° 4: Valores con presencia de perturbación.....	53
Tabla N° 5: Funcionamiento de la electroválvula.....	54
Tabla N° 6: Tabla de costo.....	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación N° 1: Función de transferencia Proporcional	12
Ecuación N° 2: Función de transferencia Integral	12
Ecuación N° 3: Control proporcional integral	12
Ecuación N° 4: Función de transferencia PI	13
Ecuación N° 5: Control proporcional integral derivativo	13
Ecuación N° 6: Función de transferencia controlador PID	13
Ecuación N° 7: Ecuación de continuidad.....	16

RESUMEN

La presente tesis describe el diseño y la implementación de un módulo para controlar la proporción de mezclado de dos flujos, en la cual se aplica la estrategia de Control de Razón. El módulo está conformado por dos transmisores de flujo tipo turbina, dos variadores de velocidad, dos bombas de agua, una electroválvula, válvulas manuales, dos tanques para almacenamiento de agua de diferentes colores, un tanque de mezclado y una tarjeta de adquisición de datos con acondicionamiento. Así mismo para la programación se utilizó el software Labview versión DEMO donde se utilizó una librería de control PI, asimismo se utilizó dos métodos de sintonización, el primero fue la sintonización por Ziegler y Nichols por el método de ganancia limite; obteniendo un error de 1.28 LPM (litros por minuto) por debajo del Set-Point del flujo controlado. El segundo método se sintonizó con una variante de la sintonización de prueba y error, obteniendo una mejor respuesta con un error de +/-0.5 LPM con respecto al Set-Point del flujo controlado.

Finalmente, para los diferentes factores de Razón asignados (Factor de razón de 0.7, 0.5 y 0.3) se logró mantener la relación de flujo con perturbaciones en el proceso, pero con errores de +/- 0.06, +/- 0.06 y +/- 0.1 con respecto a los factores de razón respectivamente. Además, para la verificación del mezclado de los dos líquidos de colores distintos se procedió a realizar la comparación de forma visual y directamente observando el tanque de mezclado.

Palabras claves: Labview, Tanque de mezcla, Flujómetro, Electroválvula, Control de Razón, PI.

ABSTRACT

This thesis describes the design and implementation of a module to control the mixing ratio of two flows, in which the Reason Control strategy is applied.

The module consists of two turbine-type flow transmitters, two speed variators, two water pumps, one solenoid valve, manual valves, two water storage tanks of different colors, a mixing tank and a data acquisition card with conditioning. Likewise, for programming, the Labview version DEMO software was used, where a PI control library was used, and two tuning methods were used, the first one was the tuning by Ziegler and Nichols by the limit gain method; obtaining an error of 1.28 LPM (liters per minute) below the Set-Point of the controlled flow. The second method was tuned with a variant of trial and error tuning, obtaining a better response with an error of +/- 0.5 LPM with respect to the Set-Point of the controlled flow.

Finally, for the different assigned Reason factors (Reason factor of 0.7, 0.5 and 0.3) it was possible to maintain the flow relation with perturbations in the process, but with errors of +/- 0.06, +/- 0.06 and +/- 0.1 with respect to the ratio factors respectively. In addition, for the verification of the mixing of the two liquids of different colors, the comparison was made visually and directly observing the mixing tank.

Keywords: Labview, Mixing tank, Flow meter, Solenoid valve, Ratio control, PI.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años la estrategia de control de razón ha sido muy utilizada en las industrias, para mantener constante la relación en sus procesos de mezclas de gasolina, mezclas de pinturas, proporción de reactivos para un reactor químico, mezcla de una corriente fría con una caliente para obtener una determinada temperatura en una mezcla en particular, etc.

Para el desarrollo de la presente investigación Implementación de un Módulo de Control de Razón con un Controlador PI para Controlar la Proporción de Mezclado de dos flujos se consideró los siguientes antecedentes: Jessica Montenegro y Humberto en su tesis: “Diseño e implementación de un módulo didáctico dosificador de líquidos por diferencia de pesos”. Así mismo Linares, G. e Iparraguirre M. (2016) en su tesis: “Diseño de un prototipo automatizado de un tanque de mezcla de insumos químicos en una industria del rubro textil”. Finalmente, el informe técnico del laboratorio de TECSUP por Cuadros, C., Ñaupari, Ñ., Pascual, J. y Salgado, F. con el título “Control de razón”.

Para la investigación se ha formulado el problema general de la siguiente manera: ¿Cómo se implementará el módulo de control de razón con un controlador PI para controlar la proporción de mezclado de dos flujos?, interrogante que a través de la investigación se ha tratado de responder.

El motivo fundamental de la investigación considera controlar la variable independiente que en este caso el controlador PI y como esta repercute en la variable dependiente que es la proporción de mezclado de dos flujos en función a las necesidades del prototipo diseñado. Así mismo los resultados obtenidos de la investigación servirán de base para incentivar y brindar un aporte al Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería, ya que proporcionará a los estudiantes visualizar el funcionamiento de un controlador PI utilizando la estrategia de Control de Razón.

El objetivo principal fue, implementar, físicamente, un módulo de control de razón con un controlador PI para controlar la proporción de mezclado de dos flujos

Así mismo para un estudio sistematizado del problema, la investigación se ha estructurado de la siguiente manera:

En el capítulo I se representan los objetivos de tesis, la importancia y las generalidades del trabajo realizado.

En el capítulo II se describe los antecedentes de investigación, las variables y los aspectos teóricos de la estrategia de Control de Razón.

En el capítulo III se describe el diseño del módulo de Control de Razón y los elementos y herramientas utilizadas para la implementación del módulo. Se detalla la programación del Control de Razón en el Labview utilizando la herramienta DAQ assistant.

En el capítulo IV se obtienen y se analizan los resultados obtenidos en la implementación de módulo con referencia a los distintos Set-Point utilizados.

Para finalizar la investigación se redactan las conclusiones, recomendaciones y se describe la referencia bibliográfica utilizada, así como también se consideran los anexos con información que valida el estudio realizado.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Descripción y formulación del problema general y específicos

Si bien es cierto en la actualidad los controladores empleados en las industrias para mezclado de reactivos son de acción proporcional-integral-derivativo, el problema surge cuando las perturbaciones afectan al proceso de mezclado y logran variar la proporción de los fluidos, un ejemplo es con el sistema de control realimentado que requiere de una señal de error para que el controlador pueda actuar y corregirse. Es decir, cuánto más retardo posea un proceso, será más difícil de controlar. Además, el problema también surge cuando se opta por realizar un modelamiento matemático de la planta, utilizando leyes físicas y matemáticas para todo el proceso de mezclado. Como también se opta por elegir los parámetros del controlador mediante el uso de otros tipos de sintonización existente, como el de Ziegler y Nichols.

Por lo tanto, el problema aparece cuando se desea mantener una proporción de dos flujos, y empeora cuando la planta posee un comportamiento no lineal lo que resulta complejo su modelamiento matemático. Por esta razón, el control de razón comparado con el control de realimentación clásico logra satisfacer la necesidad específica de controlar la relación entre dos cantidades.

Actualmente el Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma, carece de un módulo para la simulación de la estrategia de control de razón, para el curso de Sistemas de Automatización Industrial del décimo ciclo del estudio de Pre-grado.

1.1.1 Problema General

¿Cómo se implementará el módulo de control de razón con un controlador PI para controlar la proporción de mezclado de dos flujos?

1.1.2 Problemas Específicos

- a) ¿De qué manera se construirá un módulo de control de razón conformado por tres tanques acoplados, de los cuales dos contendrán líquidos de colores diferentes y un tercero para el proceso de matizado a partir de la proporción de dos fluidos?
- b) ¿Cómo se sintonizará el controlador PI, correspondiente a una librería del software Labview, utilizando dos técnicas diferentes de sintonización para controlar la proporción de mezclado de dos flujos?
- c) ¿Cómo se verificará el funcionamiento del módulo de control de razón, al asignar tres proporciones distintas para el mezclado de dos flujos diferentes, con presencia de perturbaciones?

1.2 Objetivos general y específicos

1.2.1 Objetivo General

Implementar, físicamente, un módulo de Control de Razón con un controlador PI para controlar la proporción de mezclado de dos flujos.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Construir un módulo de Control de Razón conformado por tres tanques acoplados, de los cuales dos contendrán líquidos de colores diferentes y un tercero para el proceso de matizado a partir de la proporción de dos fluidos.
- b) Sintonizar el controlador PI, correspondiente a la librería del software Labview, utilizando dos técnicas diferentes de sintonización para controlar la proporción de mezclado de dos flujos.
- c) Verificar el funcionamiento del módulo de Control de Razón, al asignar tres proporciones distintas para el mezclado de dos flujos diferentes, con presencia de perturbaciones.

1.3 Delimitación de la investigación: temporal espacial y temático

1.3.1 Teórica

Hay restricciones para la búsqueda de información bibliográfica, suscripciones de páginas, bibliografías, acceso a base de datos, información técnica de los instrumentos y conocimiento de funcionamiento de módulos de Control de Razón utilizados a nivel industrial.

1.3.2 Económica

La adquisición de instrumentos de medición, actuadores y tanques de prueba son de costo elevado. Además, a causa de los elevados costos para adquirir un equipo Datacolor (Ver anexo 1), solamente se realizará una comprobación visual de los resultados obtenidos y otorgados por el módulo de control de razón propuesto.

1.3.3 Espacial

El proyecto de tesis fue realizado en el Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, durante el periodo del Programa de Titulación por Tesis.

1.4 Justificación e importancia

Debido al avance tecnológico en las industrias y a la exigencia de optimizar sus procesos, se vio la necesidad de implementar un módulo de Control de Razón para controlar la proporción de dos fluidos que permita mejorar el proceso de mezclado.

La estrategia de control de razón es cada vez más utilizada en las industrias que cuentan con procesos de mezclado de pintura, cerveza, yogurt, combustión, entre otros. Ya que este logra cumplir con la necesidad de mantener la proporción entre flujos. Por lo cual, este proyecto de tesis dará un aporte al Laboratorio de Control de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma, ya que proporcionará a los estudiantes un módulo de control de razón para controlar la proporción entre dos flujos diferentes que serán representados con colores diferentes.

Asimismo, se justifica porque es viable la construcción del módulo de control de razón a partir del uso de tres tanques acoplados con sus respectivas bombas y una electroválvula

proporcional. De igual manera, es posible la sintonización y utilización de librerías del software Labview para el controlador PI propuesto, y de la misma forma las existencias de transmisores de flujo encontrados en el mercado permitirán tomar las mediciones de esta variable, con la finalidad de utilizarlos por el controlador desde el software Labview.

1.5 Tipo y método de investigación

La presente tesis es de tipo experimental y de método aplicada, porque se manipulará la variable independiente: estrategia de Control de Razón con algoritmo PI para observar los resultados en la variable dependiente: proporción de mezclado de dos flujos, y así verificar el funcionamiento y la mejora del proceso de mezclado con la obtención de tonalidades diferentes.

En la presente investigación se desarrollará:

- I. Pruebas experimentales con distintos SP en la proporción de los fluidos en el proceso de mezclado.
- II. Construcción del módulo de control de razón respetando el orden y ubicación entre cada equipo empleado para que logre su mejor toma de datos y respuesta.
- III. Diseño de acondicionamiento del transmisor de flujo en la etapa de toma medición del caudal.
- IV. Desarrollo en la interfaz gráfica en Labview para el monitoreo de las proporciones de los flujos.
- V. Prueba de la implementación.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del estudio de investigación

Montenegro y Humberto Arthos (2012) en su tesis: Diseño e implementación de un módulo didáctico dosificador de líquidos por diferencia de pesos.

Diseñan un dosificador de líquidos que entrega una proporción exacta de algún material (líquidos, resinas, fluidos y polvos granulados), con la finalidad de mezclarlo con otros componentes que forman una mezcla en particular. Este módulo didáctico dosificador de líquidos por diferencia de peso consiste en dos tolvas dosificadoras que almacenan líquidos que posteriormente serán mezclados en la tolva de mezcla, además cuenta con un sistema de descarga que está formado por dos electroválvulas, un sistema de pesaje que funciona a través de una celda de carga instalada en una tolva dosificadora, y que esta se comunica a través de un PLC. Mientras que la otra tolva cuenta con un sensor de presión. Adicionalmente se menciona que la implementación de este módulo a nivel industrial es de un costo elevado debido al tipo de dosificador empleado y el tipo de válvula.

Según los autores, Montenegro y Arthos (2012), se realizan 3 pruebas con diferentes valores de peso y se halla una desviación para los valores de peso de 0.81%. Seguidamente se realiza pruebas con el sensor de presión y se halla una desviación para los valores de presión de 0.35%, en este caso el error relativo en el proceso de dosificación se debe a un pequeño porcentaje de ruido que se produce a través de la descarga realizada por las electroválvulas, ya que las tolvas que soportan el peso de los líquidos se encuentran acopladas a la estructura que soporta toda la máquina, por medio de la celda de carga y el soporte que contiene al sensor de presión; existiendo una pequeña inestabilidad en la máquina y por ese motivo se tiene un pequeño esfuerzo de la celda de carga, produciéndose fuerzas angulares que afectan en la medición de peso.

Los autores cumplen con el objetivo de diseñar y construir un módulo didáctico dosificador de líquidos utilizando un controlador lógico programable, y elaboran 5 guías de prácticas de laboratorio con el objetivo de conocer el funcionamiento completo del módulo para así controlar la dosificación a través del control On-Off, control On-Off con histéresis y control de razón.

Linares, G. e Iparraguirre M. (2016) en su tesis: Diseño de un prototipo automatizado de un tanque de mezcla de insumos químicos en una industria del rubro textil.

Proponen un reactor de mezcla de insumos químicos automatizado mediante un PLC, que consta de dos tanques alimentadores que le suministran la cantidad de materia prima adecuada para su elaboración de lotes de producción estándar a un menor costo. Los autores, para optimizar los procesos, hicieron mediciones de los tiempos de la preparación de insumos químicos que se realizaron de forma manual por los trabajadores para 1 y 2 toneladas, obteniendo un tiempo de producción de 1 hora 40 minutos y 3 horas 20 minutos, respectivamente. Para realizar las pruebas con el reactor de mezcla automatizado se hallan valores de la curva característica del proceso de flujo y se llega a la conclusión que el controlador con mejor respuesta para su proceso es el controlador PI, ya que, se compararon las respuestas obtenidas de la simulación de los tres tipos de controladores P, PI y PID, empleando el método de sintonización de Ziegler y Nichols. Además, los autores sustentan la optimización de sus procesos utilizando mediciones de los tiempos de la preparación automatizada, los cuales se contrastaron con los tiempos manuales de las pruebas realizadas. Y, como resultados obtenidos en este proyecto para 2 toneladas, se logra una diferencia de 1 hora 42 minutos 22 segundos al automatizar el proceso mejorando la calidad de los productos finales, pues se consigue la homogeneización de lotes de producción y se contrarrestan los índices de falla por factores humanos.

Cuadros, C., Ñaupari, Ñ., Pascual, J. y Salgado, F. (2011) en su informe técnico de laboratorio: Control de razón.

Nos definen el concepto de lo que es la estrategia de control de razón, esta estrategia nos ayuda a controlar una variable secundaria en relación directa a otra variable llamada primaria; los autores realizan pruebas de feedback para obtener la función de transferencia del proceso, para realizar estas pruebas configuran el controlador en modo manual y le generan un escalón a la salida OUT. Seguidamente los autores definen los parámetros y estructuras que controlarán el proceso ingresando como factor de razón del proceso SP igual a 5 y observan cómo responde el comportamiento de la variable de proceso. Realizan la sintonización del proceso y llegan a la

conclusión de usar un control PI debido a que el tipo de control más apropiado para el proceso de flujo es el integral. Debido a las pruebas realizadas en sus laboratorios los autores llegan a la conclusión de comprobar que el flujo controlado se adecua rápidamente al variar la razón entre los dos flujos, además verifican el funcionamiento de su proceso utilizando la técnica de control de razón con un controlador SIPART DR20.

Heartson, S., Sajeena, S. (2013) en su paper: *Control Strategy for Flow Control for Maintaining Exact Reflux*.

Proponen el desarrollo de un controlador de relación modificada con la colocación del polo dominante. Este controlador está desarrollado para controlar el flujo del proceso. El objetivo del trabajo de investigación es mantener una relación de reflujo constante de una columna de destilación utilizando el software Matlab Simulink. Para desarrollar el controlador hallan la función de transferencia de la válvula con su posicionador y esta función es utilizada para desarrollar el controlador en MATLAB. Los autores logran mantener la relación de reflujo deseada en la columna de destilación con alta precisión concluyendo que el controlador que muestra mejor rendimiento es el controlador de relación con el poste de compensación.

2.2 Selección de variables

En este trabajo de tesis, se establecieron las variables para el desarrollo de esta.

2.2.1 Variable independiente

Estrategia de Control de Razón con algoritmo PI

2.2.2 Variable dependiente

Proporción de mezclado de dos flujos

2.3 Bases teóricas

2.3.1 Control de Razón:

El Control de Razón es un sistema en el que una variable de proceso es controlada con relación a otra variable (...). El control de relación satisface una necesidad específica, controlando la relación entre dos cantidades. (Creus, 2010, p.551)

El objetivo principal de este sistema de control es mantener la relación de los fluidos aún cuando estos fluidos presenten perturbaciones y cambien. Este sistema es cada vez más usado en las industrias que cuentan con proceso de mezclado como (cerveza, pintura, combustión, etc.) ya que logra cumplir con la necesidad de mantener la proporción entre flujos.

Es preciso mencionar, que en este trabajo de tesis se eligió el tipo de control de relación ajustable, pero sin el controlador analizador de mezcla, porque es muy utilizado para obtener composición de mezclas de dos corrientes. Para nuestro caso se analiza la mezcla de dos fluidos de diferentes tonalidades de manera visual a través de la comparación de los resultados del cambio de diferentes set-point.

En la figura N° 1 se muestran dos diagramas conceptuales, por un lado el diagrama de la izquierda nos representa el flujo controlado FF que aumenta ó disminuye para mantener la relación correcta con el flujo libre. El flujo controlado FF es controlado por el lazo, y el flujo libre FT no es controlado por el lazo. El valor deseado para el controlador es igual al valor medido del flujo libre multiplicado por un valor definido en la estación de relación FF. Este valor puede ser fijo ó ajustado por el operador.

Por otro lado, en el diagrama de la derecha la salida del controlador AIC-3 es la relación deseada. Para ajustar manualmente la relación, se pone el controlador AIC-3 en modo manual y se ajusta manualmente su salida.

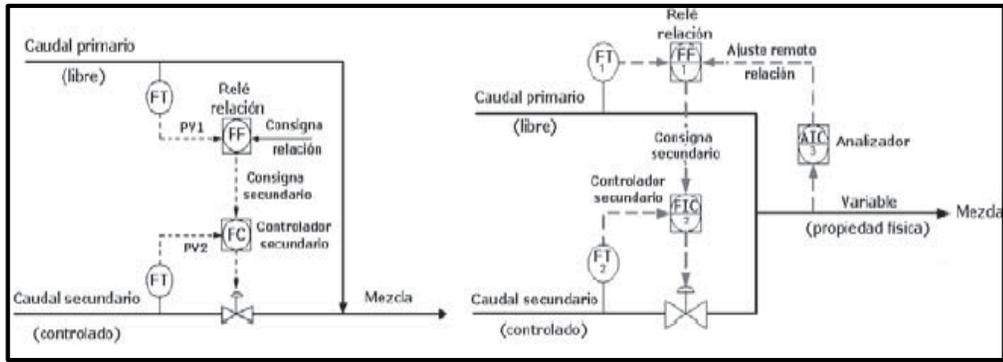


Figura N° 1: Control de Relación

Fuente: Creus, 2010, p.552

2.3.2 Controlador PID

Un controlador PID es un sistema de control que, mediante un actuador, es capaz de mantener un proceso en un punto asignado dentro del rango de medición del sensor que se mide, este controlador es robusto en muchas aplicaciones y son los que más se utilizan en la industria.

2.3.2.1 Estructura de un PID

La estructura de un controlador PID, incluyen las tres acciones: Proporcional, integral y derivativa. Estos controladores son los denominados P, I, PI, PD y PID.

En la figura N° 2 se considera un lazo realimentado simple, que consiste de un proceso y un controlador, sometido a perturbación.

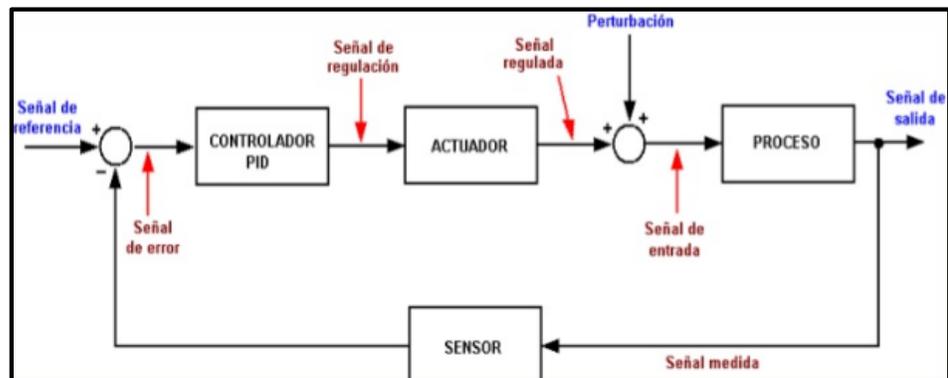


Figura N° 2: Diagrama de bloques

2.3.2.2 Acción de control

Según Mazzone (2002):

- Acción de control proporcional, da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir: $u(t) = K_p \cdot e(t)$, que descrita desde su función transferencia queda como:

$$C_p(s) = K_p$$

Ecuación N° 1: Función de transferencia Proporcional

En la ecuación N° 1 el K_p es una ganancia proporcional ajustable. Además, un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

- Acción de control integral, da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, lo que implica que es un modo de controlar lento. En la ecuación N° 2 se muestra su función de transferencia.

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

Ecuación N° 2: Función de transferencia Integral

La señal de control $u(t)$ 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.

- Acción de control proporcional-integral, se define mediante la ecuación N° 3:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

Ecuación N° 3: Control proporcional integral

En la ecuación N° 4 el T_i se denomina tiempo integral y es quien ajusta la acción integral. La función de transferencia resulta:

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right)$$

Ecuación N° 4: Función de transferencia PI

Con un control proporcional, es necesario que exista error para tener una acción de control distinta de cero. Con acción integral, un error pequeño positivo siempre nos dará una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control será decreciente. Este razonamiento sencillo nos muestra que el error en régimen permanente será siempre cero.

Muchos controladores industriales tienen solo acción PI. Se puede demostrar que un control PI es adecuado para todos los procesos donde la dinámica es esencialmente de primer orden. Lo que puede demostrarse en forma sencilla, por ejemplo, mediante un ensayo al escalón.

- Acción de control proporcional-integral-derivativa, esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. En la ecuación N° 5 se muestra el controlador con esta acción:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_p \frac{de(t)}{dt}$$

Ecuación N° 5: Control proporcional integral derivativo

Y en la ecuación N° 6 se muestra su función transferencia:

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Ecuación N° 6: Función de transferencia controlador PID

Por lo tanto, si se tiene un sistema de primer orden se suele utilizar un PI, y si el sistema es de segundo orden se suele utilizar un PID. (p.1)

2.3.3 Sintonización por prueba y error

Para Creus (2010):

El procedimiento general se basa en poner en marcha el proceso con bandas anchas en todas las acciones y estrecharlas, poco a poco individualmente, hasta obtener la estabilidad deseada. Para provocar cambios de carga en el proceso, y observar sus reacciones, se mueve el punto de consigna arriba y abajo en ambas direcciones, lo suficiente para lograr una perturbación considerable, pero no demasiado grande que pueda dañar el producto, perjudicar la marcha de la planta o bien crear perturbaciones intolerables en los procesos asociados.

Es necesario que pase un tiempo suficiente después de cada desplazamiento del punto de consigna, para observar el efecto total del último ajuste obteniendo algunos ciclos de la respuesta ante la perturbación creada. (p.533)

Para la sintonización del controlador proporcional se inicia con una ganancia pequeña y se aumenta gradualmente la ganancia, observando que el sistema permanezca estable. Se nota que al aumentar la ganancia aumenta la inestabilidad, y cuando disminuye se incrementa el offset, como se observa en la figura N° 3.

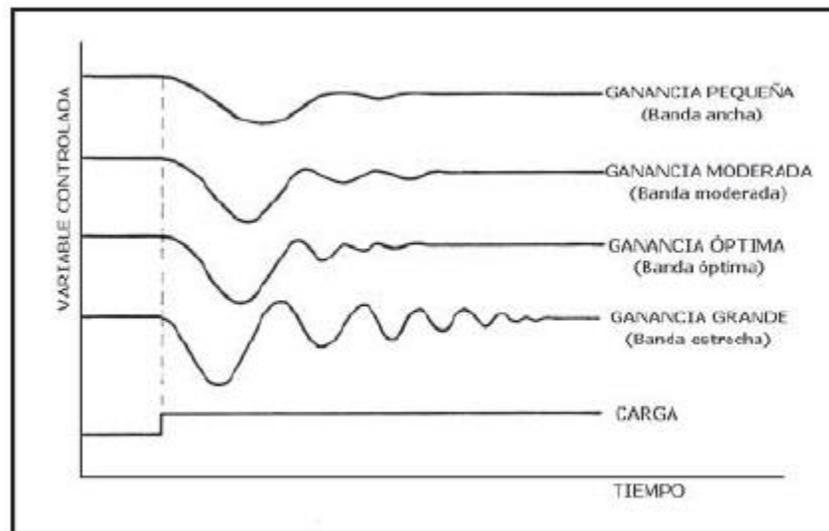


Figura N° 3: Ajuste de banda proporcional

Fuente: Creus, 2010, p.534

Según Creus (2010):

Para la sintonización del controlador PI, se tiene la banda integral en ∞ minutos/repetición, se sigue el procedimiento descrito anteriormente para obtener el ajuste de la ganancia proporcional hasta una relación de amortiguamiento aproximada de 0,25. Como la acción integral empeora el control, su ganancia debe ser un poco menor, se disminuye ligeramente la ganancia y, a continuación, se incrementa por pasos la banda integral, creando al mismo tiempo perturbaciones en forma de desplazamientos del punto de consigna, hasta que empiecen a aumentar los ciclos. La última ganancia ensayada se aumenta ligeramente. (p. 534). En la figura N° 4 se observan curvas características del ajuste de la acción integral.

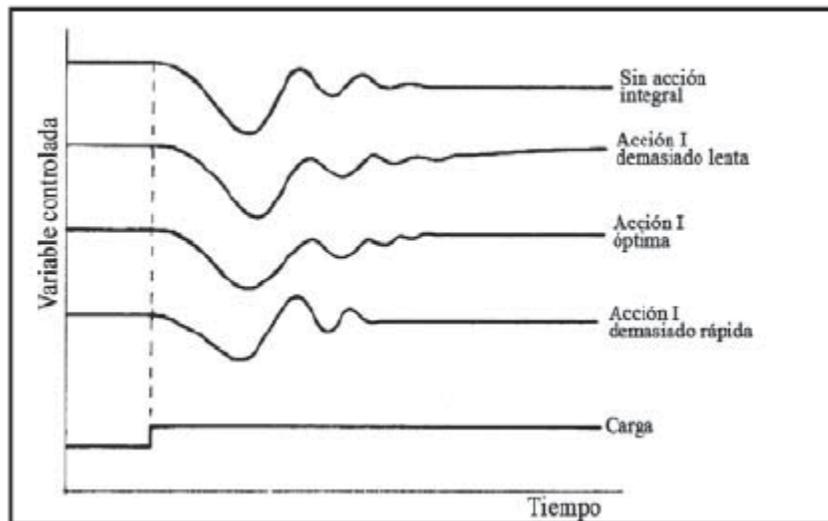


Figura N° 4: Ajuste de acción integral

Fuente: Creus, 2010, p.535

Un ajuste bueno de un controlador PI lleva la variable al punto deseado con pocos ciclos, sin que bajen el punto deseado aunque presenten perturbaciones.

2.3.4 Medición de flujo tipo turbina

Para Creus (2010):

Los medidores de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. El fluido choca contra el

borde frontal de las palas del rotor produciendo un área de baja presión y, como resultado de esta presión diferencial, las palas también giran.

Como la velocidad del fluido baja inmediatamente después de las palas de la turbina, por el principio de Bernoulli aumenta la presión aguas abajo de la turbina y, como consecuencia, se ejerce una fuerza igual y opuesta a la del ruidito aguas arriba y, de este modo, el rotor está equilibrado hidrodinámicamente y gira entre los conos anterior y posterior sin necesidad de utilizar rodamientos axiales, evitando así los efectos indeseables de un rozamiento que necesariamente se produciría. La turbina está limitada por la viscosidad del fluido, debido al cambio que se produce en la velocidad del perfil del líquido a través de la tubería cuando aumenta la viscosidad. En las paredes, el fluido se mueve más lentamente que en el centro, de modo que las puntas de las palas no pueden girar a mayor velocidad.

En el Flujómetro tipo turbina se relaciona el número de vueltas del equipo con la velocidad del flujo, y al contar con el diámetro de la tubería donde está el medidor, se puede determinar el caudal por medio de la ecuación de continuidad.

$$Q = A \times V$$

Ecuación N° 7: Ecuación de continuidad

En la ecuación N° 5 se tiene el caudal en (m³/s), el área transversal en (m²) y la velocidad del flujo en (m/s).

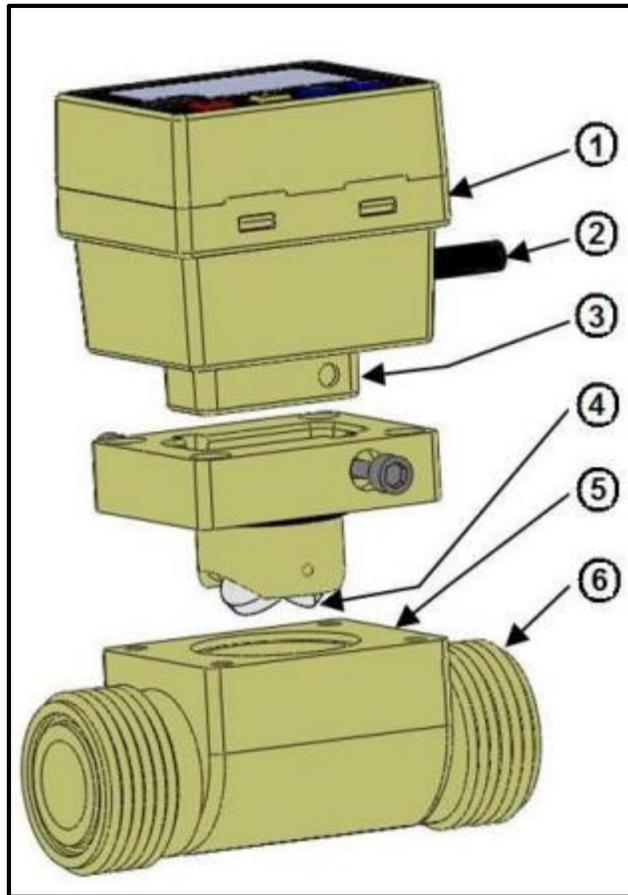


Figura N° 5: Flujómetro de rueda de paletas FOTEK

Fuente: Hoja técnica del Flujómetro FOTEK

En la figura N° 5 se señala las partes principales del Flujómetro Fotek de ruedas de paleta, desde el número 1 hasta el número 6 se describe el medidor de corriente, cable conductor, sensor de pasillo, rueda de paletas, cuerpo y conector de tubería respectivamente en la enumeración, la exactitud del equipo es del $\pm 1.0\%$. La máxima precisión se consigue con un régimen laminar, instalando el instrumento en una tubería recta de longitudes mínimas 10 diámetros aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo. La instalación de medidor siempre debe asegurar una tubería llena, aunque el caudal sea nulo, ya que, en la puesta en marcha, el choque del fluido a alta velocidad podría dañarlo seriamente. La frecuencia generada por el medidor de turbina se transmite a un convertidor indicador o totalizador.

En la figura N° 6 se muestra un Flujómetro tipo turbina marca Fotek.



Figura N° 6: Flujómetro Fotek KTM

Fuente: Elaboración Propia

Características técnicas del Flujómetro Fotek KTM:

- Fluido: Agua o fluido químico
- Exactitud: $\pm 1.0\%$ of F.S. @ 25°C
- Velocidad de flujo: 10 m / s Max.
- Corte bajo: 0.3 m / s min.
- Prensa de funcionamiento: 5 kg / cm²
- Habilidad de rango: 10 : 1
- Tiempo de respuesta: Tiempo real
- Temperatura de funcionamiento: PVC<50°C/PP<80°C/PF<100°C/ST<120°C
- Circunstancia de funcionamiento: -20°C ~ +80°C ; 35% ~ 85% RH
- Clase de protección: IP-65. Ver Anexo 2

2.3.5 Electroválvula Proporcional.

Según Galván y Meza (2017)

En los procesos industriales la electroválvula proporcional tiene un papel muy importante en el bucle de la regulación del caudal. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el nivel del tanque medido comportándose como un orificio de área continuamente variable. Dentro del

bucle de control tiene tanta importancia como el elemento primario, el transmisor y el controlador. (p. 25)

En la siguiente figura N° 7 se muestra las partes de una electroválvula; en la cual se detalla cada componente:

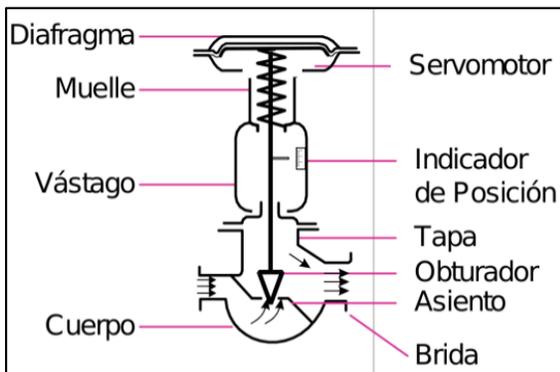


Figura N° 7: Partes de una electroválvula

Fuente: <http://sisteunefaim.blogspot.com/2013/01/valvula-de-control-automatico.html>

El cuerpo es la parte de la electroválvula que cumple la función de regular el flujo que pasa a través de él. Está hecho de material de hierro, acero, acero inoxidable y en otros materiales para casos especiales. El obturador es el que realiza la función de reducir el paso del fluido. Este está unido al vástago que pasa a través de la tapa del cuerpo y esta a su vez es accionada por el servomotor.

Los actuadores son dispositivos capaces de generar una fuerza a partir de líquidos, de energía eléctrica. Para este trabajo de tesis utilizamos la electroválvula AME 435 marca Danfoss que tiene las siguientes características técnicas. Se eligió dicha válvula porque es la que dispone el Laboratorio de Control de la Facultad Ingeniería de la Universidad Ricardo Palma.

- Voltaje Nominal (AC o DC): 24V, 50Hz/60Hz.
- Señal de control de entrada: 4-20Ma, 0-10v.
- Fuerza: 400N.
- Carrera: 20 mm.

- Velocidad: Seleccionable 7,5 s/mm o 15 s/mm.
- Máxima temperatura del fluido: 130 °C.
- Auto-calibración.
- Señalización LED.
- Botón de reinicio externo.
- Señal de salida.
- Operación manual. Ver Anexo 3

En la figura N° 8 se tiene una electroválvula proporcional marca Danfoss.



Figura N° 8: Electroválvula Danfoss

Fuente: Hoja técnica de la electroválvula proporcional marca Danfoss

2.3.6 Sintonización por Ziegler y Nichols

a. Método de Ganancia Limite

Según Creus (2010):

Este método permite calcular los tres términos de ajuste del controlador a partir de los datos obtenidos en una prueba rápida de características del lazo cerrado de control. El método se basa en aumentar gradualmente la ganancia, con los ajustes de integral y derivada en su valor más bajo (integral = ∞ número de minutos/repetición y derivada = 0 minutos de anticipo), mientras se crean pequeños cambios en el punto de consigna, hasta que el proceso empieza a oscilar de modo continuo. Esta ganancia proporcional se denomina ganancia límite. Se anota el período del ciclo de las oscilaciones P_u en minutos, y la última ganancia límite K_c . (p.538)

Se toma como referencia la siguiente tabla N° 1 para obtener la sintonización del controlador PID.

Tabla N° 1: Valores de Ziegler y Nichols

	K_p	T_i	T_d
P	$0.50K_c$		
PI	$0.45K_c$	$0.83P_u$	
PID	$0.60K_c$	$0.50P_u$	$0.125P_u$

Fuente: Linares, G. e Iparraguirre, M., 2016, p.73

2.3.7 Tarjeta de adquisición de datos (DAQ)

Según Galván y Meza (2017):

La tarjeta de adquisición de datos, modelo USB-6008/6009 de National Instruments es un dispositivo de adquisición y generación de señales analógicas y digitales, en lo se divide en ocho (08) puertos de entradas analógicas, dos (02) puertos de salidas analógicas, doce (12) puertos de entrada y salida digitales. En la figura N° 9 se muestra las partes de la DAQ.

1. DAQ 6008
2. Terminales de conexiones
3. Entradas analógicas y digitales
4. Usb conector

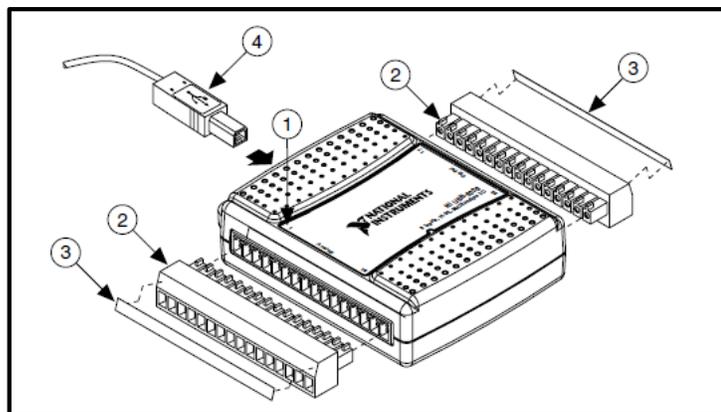


Figura N° 9: Partes de tarjeta de adquisición de datos

Fuente: Guía de usuario NI USB-6008/6009

En la figura N° 10 se detalla las partes de las entradas y salidas analógicas, y su forma de conectarse. La NI USB-6008/6009 viene con un bloque de terminales de tornillo por los lados laterales que son extraíbles, estos bordes se utilizan para transmitir o recibir señales analógicas o digitales.

Estos terminales permiten realizar 32 conexiones. Para este trabajo de tesis se utilizarán los terminales número 1, 2, 10 y 11 que son los terminales para adquirir una señal analógica, y los terminales 15 y 16 que son los terminales para generar una señal analógica.

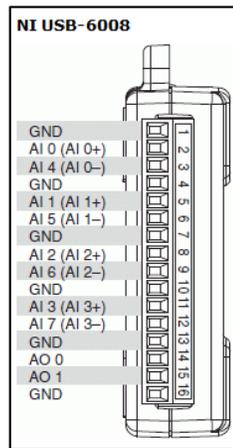


Figura N° 10: Terminales de entradas y salidas analógicas

Fuente: Manual NI USB-6008/6009

En la Tabla N° 2 se detalla la descripción de sus entradas y salidas analógicas, así como de las entradas y salidas digitales y otras opciones con las que cuenta el equipo. Ver Anexo 4.

Tabla N° 2: Descripción de entradas y salidas analógicas (continúa)

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
GND	---	---	Tierra. Punto de referencia para single-ended medidas por AI. Punto de retorno de corriente en modo diferencial.
AI <0...7>	Varios	Entrada	Canales de entradas

Fuente: Manual NI USB-6008/6009

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
			analógicas 0 a 7, para medir en single-ended. Cada canal es una entrada de voltaje analógico. Para medidas en modo diferencial, AI0 y AI14 son las entradas positivas y negativas respectivamente del canal 0. Los siguientes pares también forman canales de entradas diferenciales: <AI1, AI5>, <AI2, AI6> Y <AI3, AI7>.
AO0	GND	Salida	Canal 0 de salida analógica
AO1	GND	Salida	Canal 1 de salida analógica

Fuente: Manual NI USB-6008/6009

2.3.8 Bomba de Agua

La bomba de agua es una máquina que transforma energía, aplicándola para mover el agua. Para el trabajo de tesis se utilizó una bomba centrífuga de agua con una potencia de 0.5 HP, para abastecer de agua al tanque de mezcla.



Figura N° 11: Bomba de agua

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 11 se muestra la bomba de agua utilizada con las siguientes características:

- Flujo máximo: 35L/min
- Revoluciones: 3450 r/min
- Salida a tubería de 1"
- Voltaje de alimentación: 220V
- Frecuencia: 60 Hz

2.3.9 Variador de Velocidad

Según Peña, F. y Poveda, O. (2015):

Es un dispositivo empleado para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador especial que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc. Un variador de velocidad puede consistir en la combinación de un motor eléctrico y el controlador que se emplea para regular la velocidad del mismo.

Razones para emplear variadores de velocidad El control de procesos y el ahorro de la energía son las dos de las principales razones para el empleo de variadores de velocidad. Históricamente, los variadores de velocidad fueron desarrollados originalmente para el control de procesos, pero el ahorro energético ha surgido como un objetivo tan importante como el primero. La vida útil del sello de las bombas incrementa, se reduce la vibración y el ruido siempre y cuando el punto de trabajo se mantenga dentro del rango de operación permisible.

La mayoría de las bombas son impulsadas por motores eléctricos. Por tanto, la forma más eficiente para un control de flujo es el uso de un variador de velocidad electrónico o VFD (variable Frequency Drive). La forma de control más común de los VFD es la modulación del ancho de pulso de la fuente de tensión de entrada.

En su forma más simple el convertidor desarrolla un voltaje directamente proporcional a la frecuencia, que produce un flujo magnético constante en el motor. El control electrónico puede igualar la velocidad del motor a los requisitos de carga. Esto elimina una serie de elementos auxiliares costosos y poco eficientes como válvulas o sistemas de derivación bypass.

Para el trabajo de tesis se utilizó dos variadores de velocidad Siemens, para controlar la velocidad del flujo del proceso. En la figura N° 12 se muestra el variador de velocidad Siemens.

Características de prestaciones:

- Flux current control, para respuesta dinámica y control mejorados
- Fast current limitation, para funcionamiento con mecanismo exento de disparo
- Freno por inyección de corriente continua integrado
- Frenado combinado para mejorar el rendimiento del frenado
- Tiempos de aceleración/desaceleración con redondeo de rampa programable
- Regulación usando función de lazo de regulación proporcional integral (PI).

Ver Anexo 5.



Figura N° 12: Variador de velocidad Siemens

Fuente: Hoja de datos Micromaster 420

2.4 Definición de términos básicos

- Estrategia de control relación: es un control basado en la pre alimentación que tiene como finalidad mantener la proporción de dos variables de proceso con un valor especificado, teniendo dos variables de flujo, una variable controlada y una variable no controlada.
- Labview: Plataforma desarrollado para diseñar sistemas, con lenguaje de programación G.
- Lenguaje G: Lenguaje de programación del programa Labview, simboliza que es un lenguaje gráfico.
- DAQ 6009: Dispositivo que tiene entradas analógicas, digitales y un contador de 32 bits, para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio.
- Medidor de Flujo tipo turbina: Utiliza la energía mecánica del fluido para poder girar el rotor en el caudal del flujo.
- Controlador PI: Controlador Proporcional Integral, se recomienda cuando hay retardos de proceso.
- Variador de Velocidad: Dispositivo electrónico utilizado para controlar la velocidad giratoria de motores.
- Válvula de globo: Válvula que logra cerrar por medio de un disco a través de vueltas múltiples el paso de un fluido.

CAPÍTULO III: DISEÑO DEL MÓDULO DE CONTROL DE RAZÓN

3.1 Dimensionamiento del Módulo de control de Razón

El funcionamiento del módulo de control de razón para controlar la proporción de mezclado de dos flujos requiere de una serie de consideraciones para su correcto funcionamiento, como la configuración de los equipos y su correcta instalación.

Este módulo se diseñó para simular el proceso de mezclado de dos flujos y permitió controlar la proporción de mezclado comprobando de manera visual el producto en un tanque de recepción.

Para el dimensionamiento del módulo se partió del hecho de contar con las características de la válvula; por ello, se adaptaron las conexiones de PVC a tales medidas, ya que la presión de trabajo de la bomba de agua que se ejerció fue menor a la presión nominal de la válvula y de las tuberías de PVC.

A continuación, en la figura N° 13 se muestra el esquema del módulo para controlar la proporción de mezclado de dos flujos.

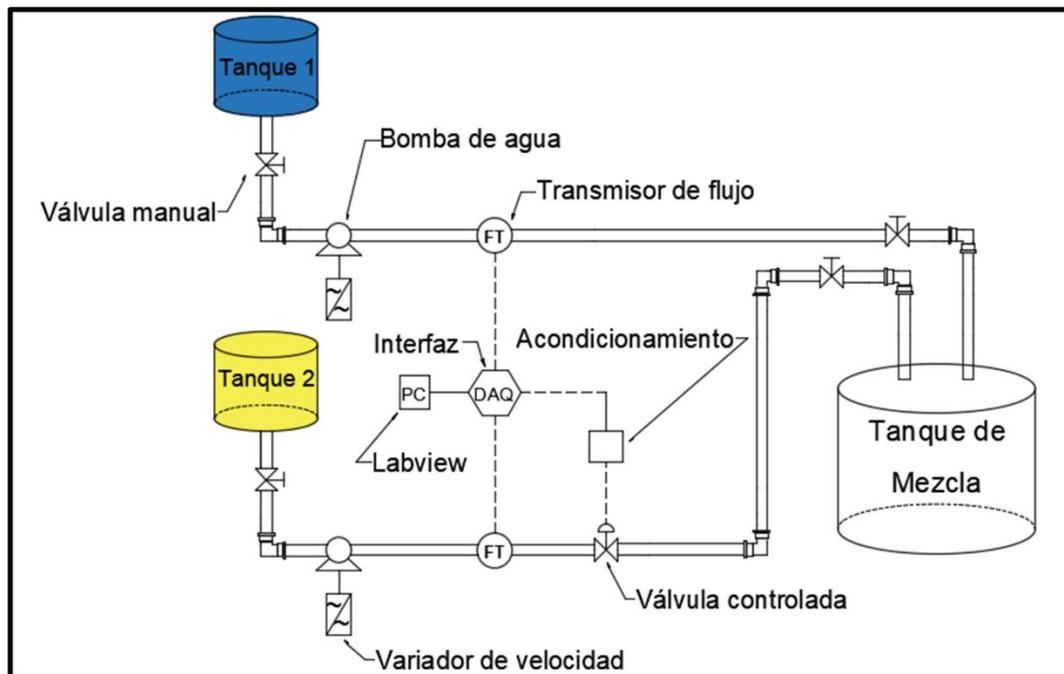


Figura N° 13: Esquema del módulo para controlar la proporción de mezclado de dos flujos

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, en la figura N° 14 se muestra el diagrama PI & D según la norma ISA -5.1.

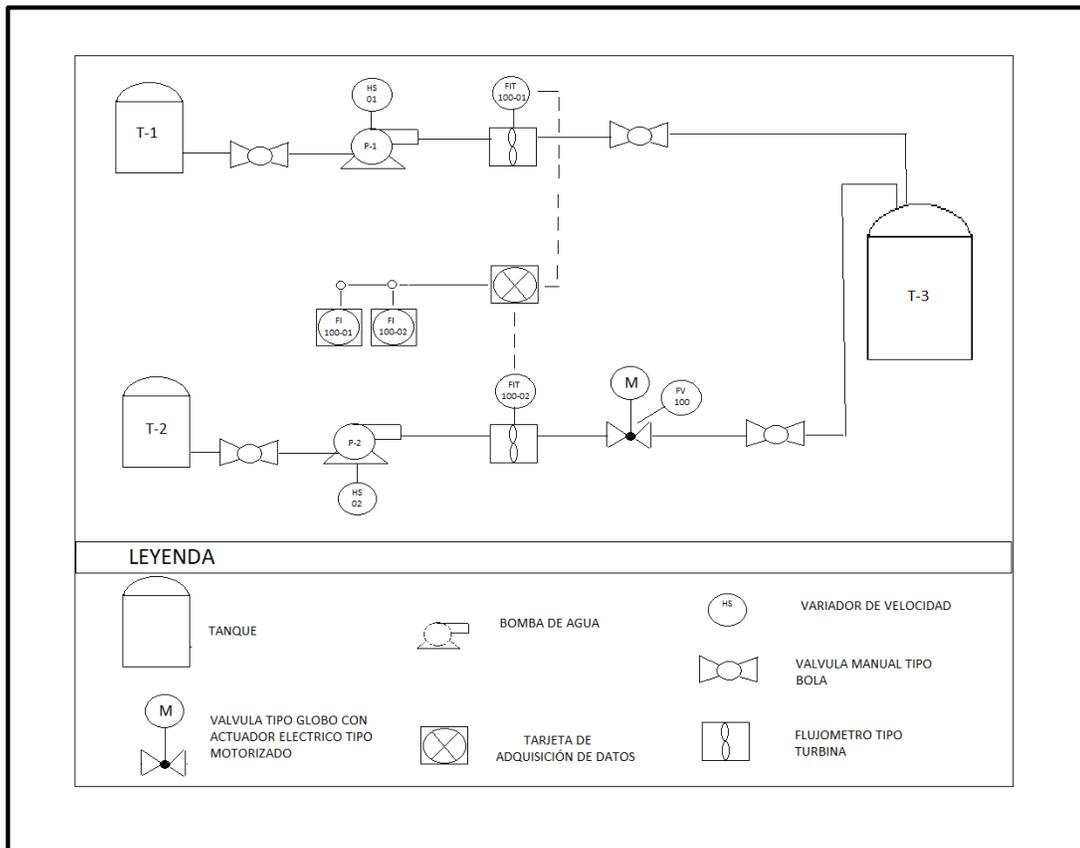


Figura N° 14: Diagrama PI & D.

Fuente: Elaboración Propia

El módulo se construyó tomando como referencia el módulo de la Institución de educación Superior TECSUP (Amesquista J., Mayta E. 2017). De esta manera, teniendo como referencia el módulo de la TECSUP elegimos los equipos empleados y la capacidad de almacenamiento de los tanques; así como también contando con algunos equipos propios del laboratorio de control, al cual se tuvo que acondicionar la implementación de este proyecto de tesis. Por lo cual se construyeron tres estructuras metálicas con la función de sostener el módulo. Estas sirven de soporte para los tanques, bombas de agua, variadores de velocidad, transmisores de flujo y la electroválvula. Dos de las estructuras metálicas cuentan con un soporte superior que sirve para sostener los tanques con líquidos de distintos colores. Y el soporte inferior sirve para sostener los variadores de velocidad y bombas de agua. Asimismo,

la tercera estructura sirve para soportar el tanque de mezcla de los líquidos de distintos colores. Los tanques fueron llenados con agua de colores distintos; para la línea no controlada se utilizó el color azul y para la línea controlada el color amarillo. Las conexiones de tuberías de PVC entre las estructuras soportan los transmisores de flujo y la electroválvula.

Para las líneas de tubería del flujo controlado y no controlado se instalaron válvulas manuales, ubicadas antes de las bombas de agua con la finalidad de evitar el paso del líquido y al final de las líneas de las tuberías (antes de llegar al tanque de recepción) para el desfogue al término de las simulaciones y poder generar perturbaciones.

Los tanques que contienen los líquidos tienen una capacidad de hasta 76 litros y el tanque de recepción tiene una capacidad de hasta 96 litros. La capacidad de estos tanques fue seleccionada debido a que el consumo de los líquidos es rápido por las bombas de agua y por lo cual la capacidad del tanque de mezcla debe ser mayor. Estos tanques son de material plástico.

En la parte inferior de las dos estructuras se ubican dos variadores de velocidad que sirven para asignar la velocidad giratoria de los motores de las bombas de agua mediante el cambio en la frecuencia, para el flujo no controlado se asignó una frecuencia de 25.90 Hz en el variador de velocidad, está se obtuvo variando la frecuencia hasta obtener 10 litros por minuto. Así mismo se asignó al flujo controlado la frecuencia de 22.70 Hz en el variador de velocidad, con la finalidad de obtener 10 litros por minuto en ambas líneas con las válvulas abiertas. Además, las bombas de agua se encargan de llevar el agua desde los tanques con líquidos de distintos colores al tanque de recepción ubicado en la tercera estructura, todo esto a través de una red de tuberías de PVC instaladas a lo largo del módulo.

Para realizar la etapa de control, se utilizó una PC con el software Labview versión DEMO para programar el PI, y una tarjeta de adquisición de datos (NI-DAQ USB 6008), para comunicar los transmisores de flujo y la electroválvula.

Se instalaron los transmisores de flujo ubicándolos en las líneas de tuberías de PVC respetando las recomendaciones de la marca FOTEK para su instalación y las conexiones correspondientes para procesar la información, cumpliendo con el correcto funcionamiento sin afectar la señal de salida.

Además, se suministró una fuente de voltaje de 24V para la alimentación de los transmisores de flujo y la electroválvula, para los variadores de velocidad se utilizó una línea de 220 VAC para energizarlo.

Como cada instrumento cuenta con diferentes medidas de longitud, altura y ancho, y tomando en las recomendaciones de instalación, se determinó la separación entre cada uno de ellos. La figura N° 15 nos muestra el módulo implementado.



Figura N° 15: Módulo Implementado

Fuente: Elaboración Propia

La figura N° 16 nos muestra el diagrama de flujo del proceso de acuerdo a la norma ISA-5.5.

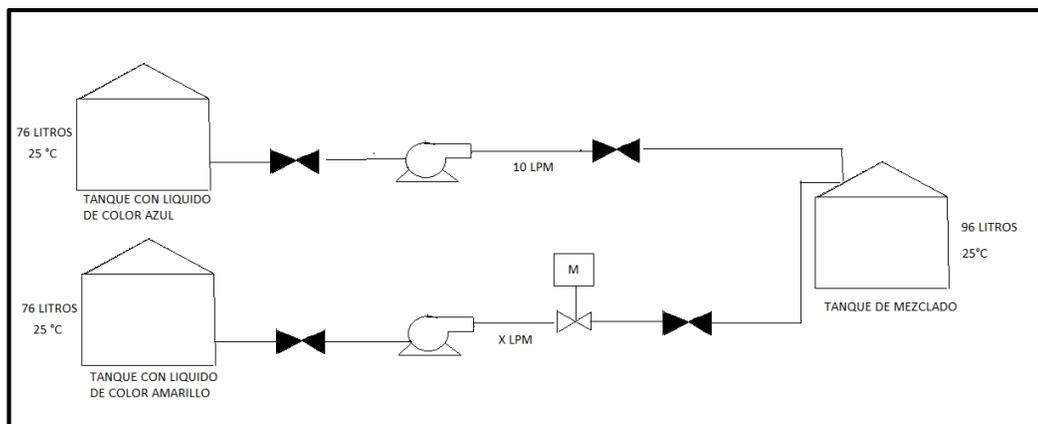


Figura N° 16: Diagrama de flujo de proceso

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Configuración de la DAQ para interface

Para el funcionamiento de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ NI 6008) se necesitó del software Labview versión académica 2016 y los drivers compatibles; estos se descargaron de la página National Instruments. A continuación, se detalla la configuración mediante gráficos.

1.- Para la configuración de la tarjeta de adquisición de datos se seleccionó el control “DAQ Assist”. Ubicado en Measurement I/O – NI DAQmx – DAQ Assist. Ver las figuras N° 17 y N° 18.

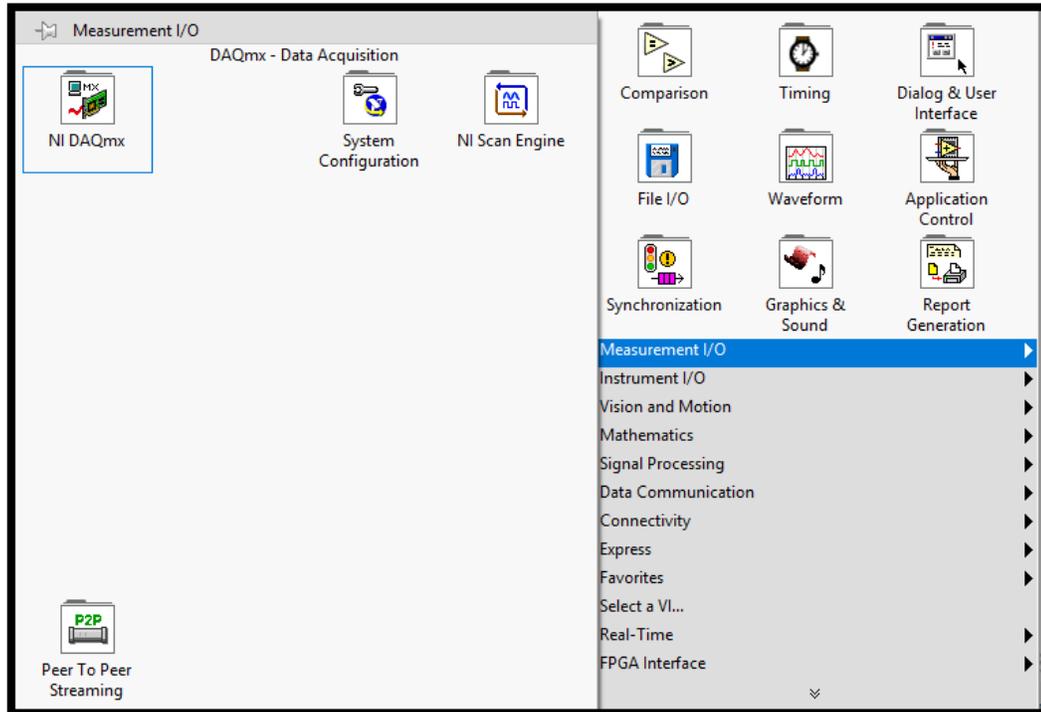


Figura N° 17: Captura de imagen del Labview

Fuente: Elaboración Propia

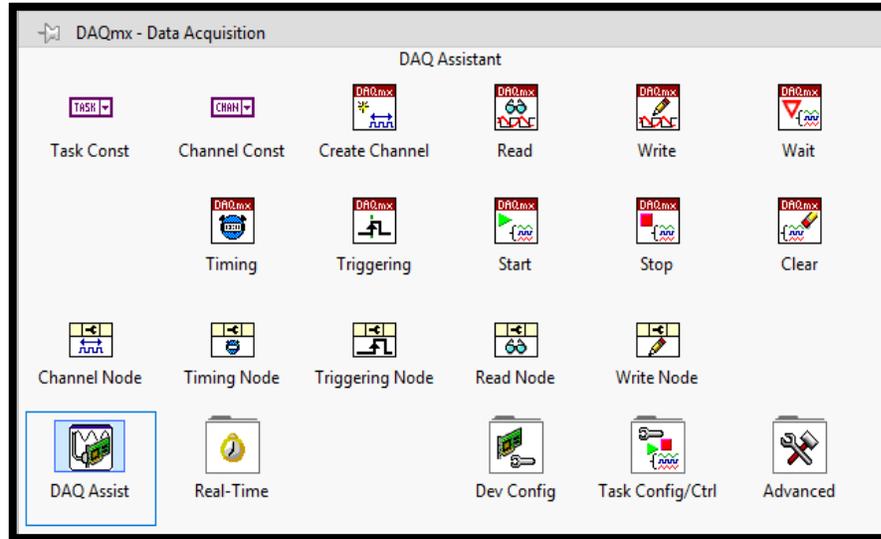


Figura N° 18: Captura de imagen de DAQ Assist

Fuente: Elaboración Propia

2.- Al seleccionar la opción “DAQ Assist” se abrió una ventana donde se eligió el tipo de manipulación de señal por la DAQ NI 6008, ya sea sea adquirir o generar señales. Ver la figura N° 19.

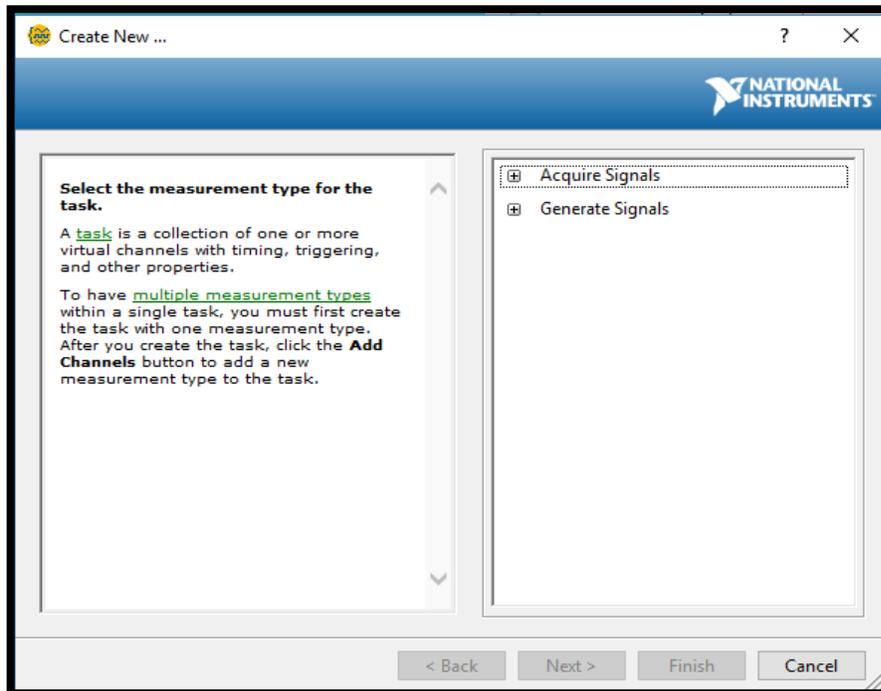


Figura N° 19: Inicio de la programación

Fuente: Elaboración Propia

3.- Al seleccionar el “Acquire Signals” se muestra opciones de Entrada analógica (Analog Input) o digital. Se procedió a elegir el tipo de señal para trabajar y seleccionar el puerto donde se obtiene la señal del transmisor de flujo. Para adquirir dos señales analógicas se necesitó agregar un canal adicional en la “DAQ Assist”, ya que se requirió adquirir señales de los dos transmisores de flujo al mismo tiempo. Finalmente se obtiene la configuración deseada. Ver las figuras N° 20, N° 21 y N° 22.

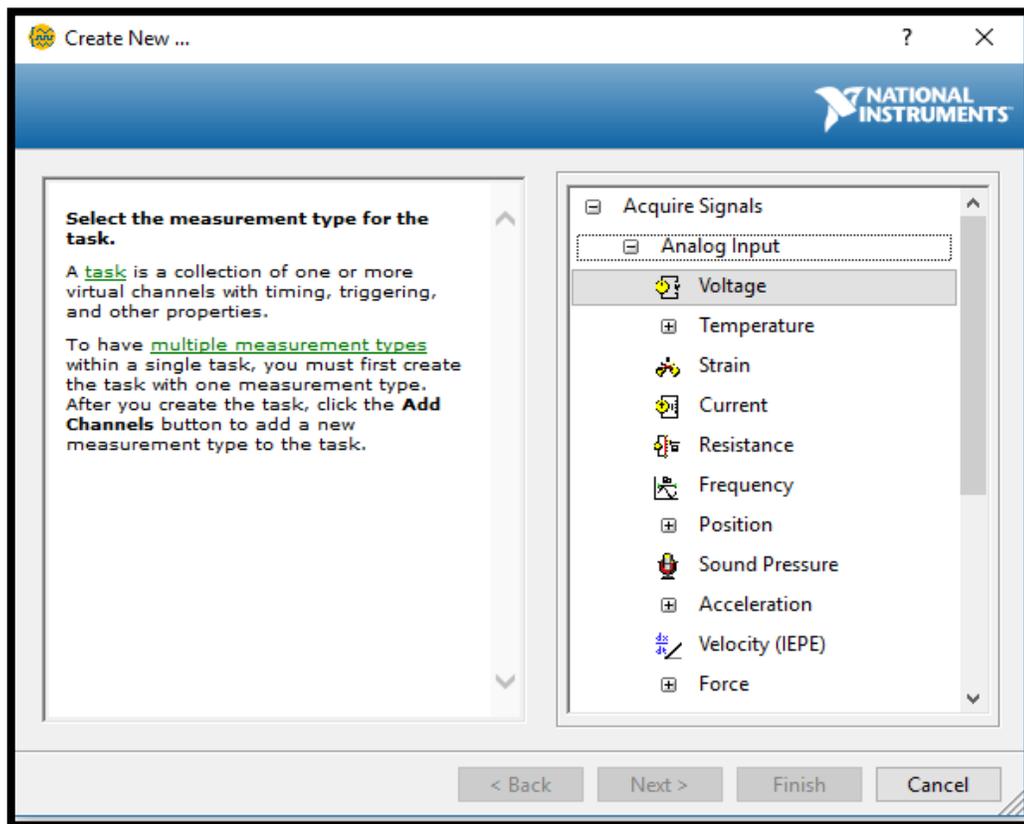


Figura N° 20: Selección de tipo de señal

Fuente: Elaboración Propia

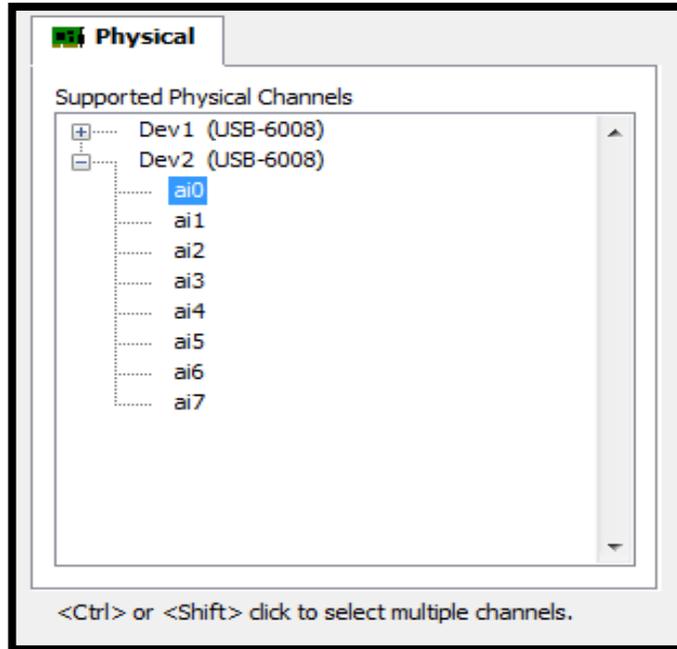


Figura N° 21: Selección de puertos

Fuente: Elaboración Propia

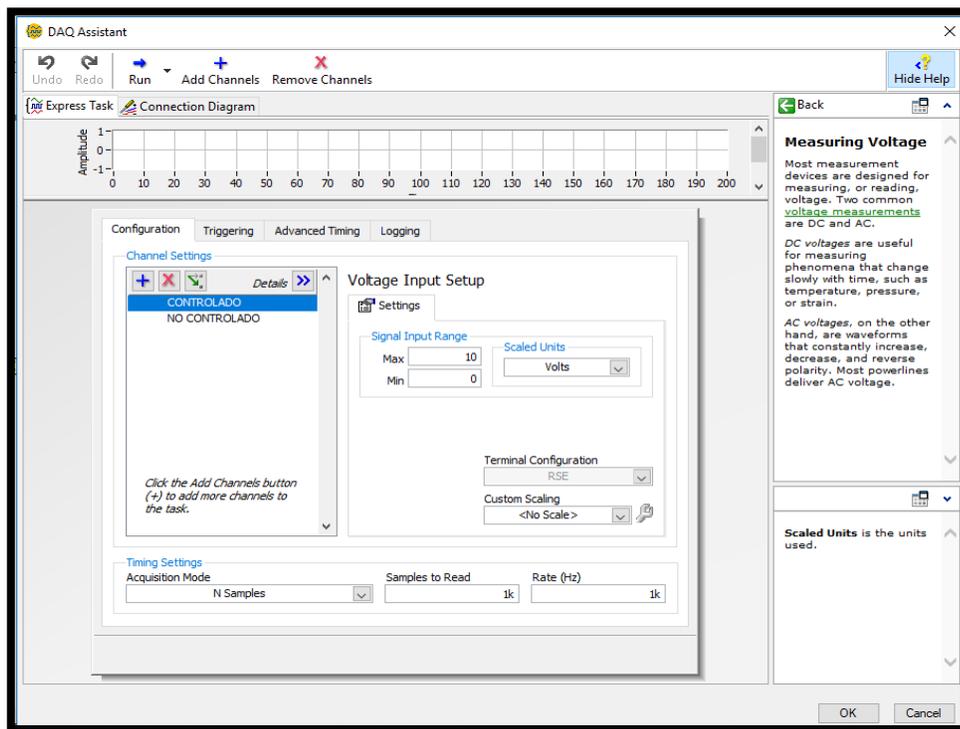


Figura N° 22: Configuración de Canal Agregado

Fuente: Elaboración Propia

3.3 Comunicación Labview – Electroválvula

Para la comunicación entre el Labview y la electroválvula, se volvió a utilizar la tarjeta de adquisición de datos (DAQ NI6008), el software Labview y un circuito acondicionador. Esta comunicación consistió en enviar una señal de salida analógica por la tarjeta de adquisición de datos a la electroválvula, pero las características de esta tarjeta corresponden a un rango en la salida de 0 – 5 Volt y la electroválvula necesita una entrada de 0 – 10 Volt; por lo tanto, fue necesario el diseño de un circuito acondicionador con la finalidad de duplicar el voltaje de la salida de la tarjeta. El circuito acondicionador se muestra en la figura N° 23 y la programación de la comunicación Labview – válvula se muestra en la figura N° 24.

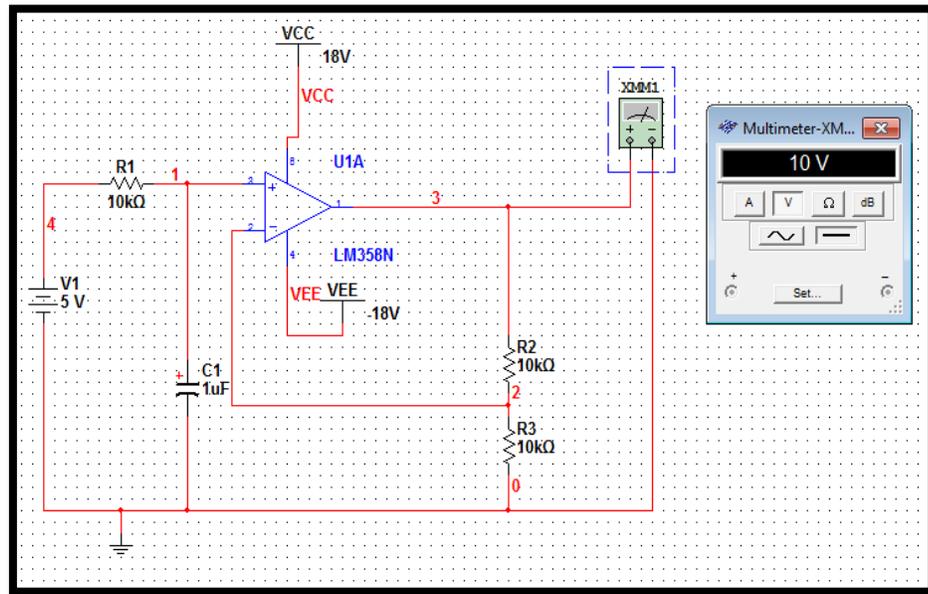


Figura N° 23: Circuito de acondicionamiento de input: 5v a output: 10v

Fuente: Elaboración Propia

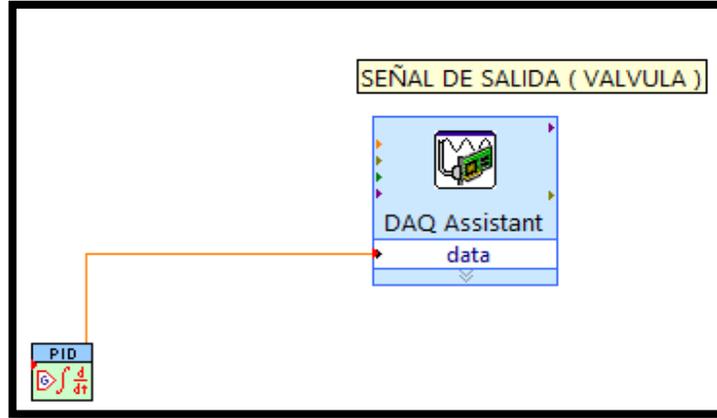


Figura N° 24: Programación de la comunicación Labview – Válvula

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Comunicación Labview – Transmisores de Flujo

La comunicación entre el Labview y los transmisores de flujo permitieron obtener el flujo que se presentó en las líneas del flujo controlado y no controlado, estos transmisores cuentan con un rango de trabajo de 3.5 a 120 LPM. Se utilizó un rango de trabajo de 0 LPM a 20 LPM, con un voltaje de variación de 0 volt a 5 volt.

Para poder configurar en el Labview los transmisores de flujo se consideraron los rangos ya mencionados y se procedió a multiplicar las señales adquiridas por 4 ya que se requirió visualizarlo en la unidad de LPM. Además, se utilizó un condensador de 1uf para mejorar adquisición de datos de la DAQ con respecto a los transmisores de flujos. Ver la figura N° 25.

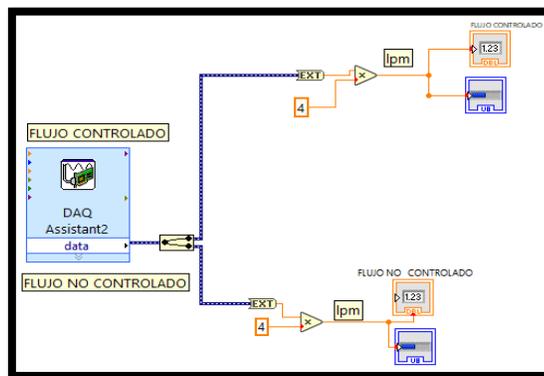


Figura N° 25: Programación de Labview - Transmisores de flujo

Fuente: Elaboración Propia

3.5 Implementación del control de razón con el controlador PI

3.5.1 Control de Razón

Para la implementación del control de razón se definieron dos tipos de flujo, el primero como flujo no controlado, que no depende de ninguna variable ya que no es controlado y su valor es constante, salvo el caso que se presenten perturbaciones. La segunda es el flujo controlado que varía de acuerdo a la relación asignada con el flujo no controlado.

Para obtener el Set-point del flujo controlado, se multiplica el factor de la razón por el valor del flujo no controlado.

Además, se utilizó el arreglo llamado Waveform Chart para poder visualizar de forma gráfica el flujo controlado, flujo no controlado y Set Point, y mediante un indicador numérico se procedió a mostrar la diferencia entre Set point y el flujo controlado, lo que representa el error. Ver la figura N° 26.

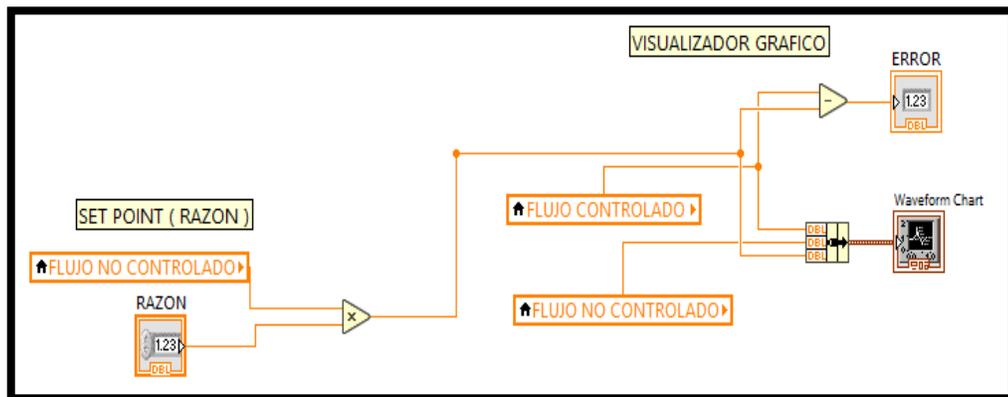


Figura N° 26: Control de Razón

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Control PI

Para la implementación del controlador PI se utilizó un bloque PID de la librería del software de labview, este bloque contiene la función clásica del controlador PID, . Además, se definió su rango de salida de 0 a 5 volt por las características del modelo de la tarjeta de adquisición de datos (DAQ NI 6008). Para la entrada del Set point se tomó el producto del flujo no controlado con un valor que representa la razón

asignada, para la variable de proceso se tomó la señal adquirida de flujo controlado, para Pid Gains se asignaron los valores para Kc y Ti, por lo tanto, como el controlador utilizado es PI no se tomó en cuenta el derivativo, asignando el valor Td como “0” y la salida a una DAQ Assist asignada para generar señales analógicas, En las figura N° 27 y N° 28 se muestra los controles utilizados, para la programación en el interfaz de diagrama de bloques del Labview.

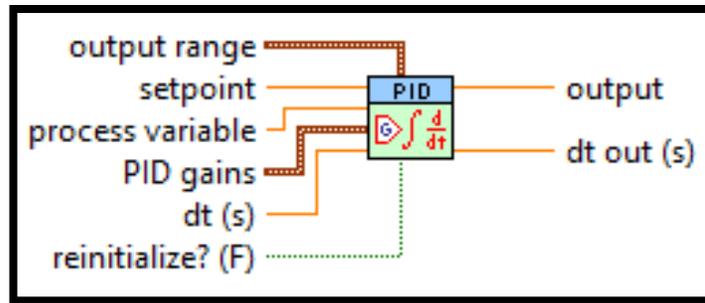


Figura N° 27: Bloque PID

Fuente: Elaboración Propia

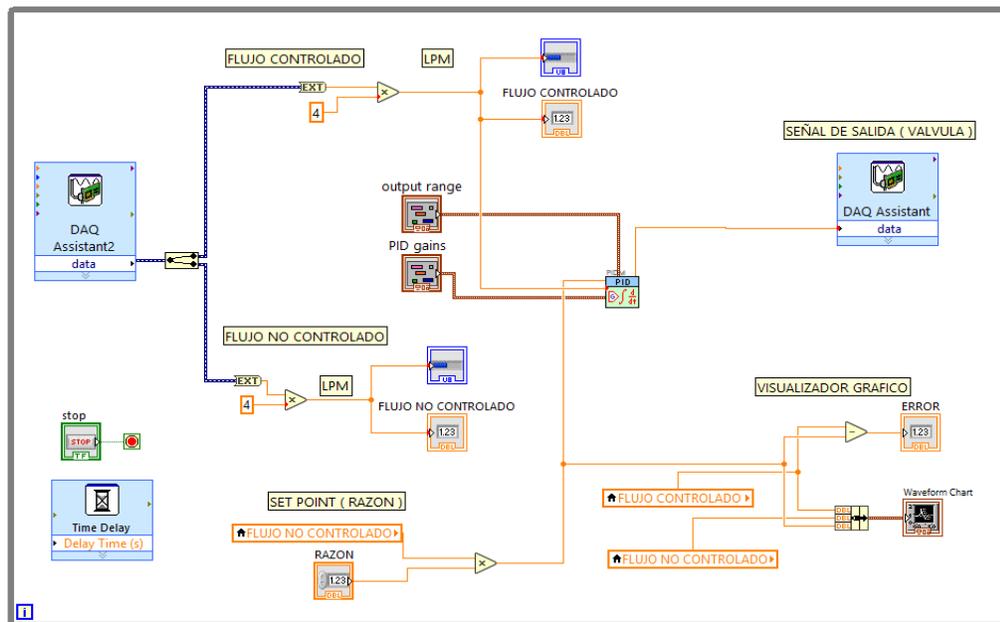


Figura N° 28: Programación del Diagrama de bloques del Labview

Fuente: Elaboración Propia

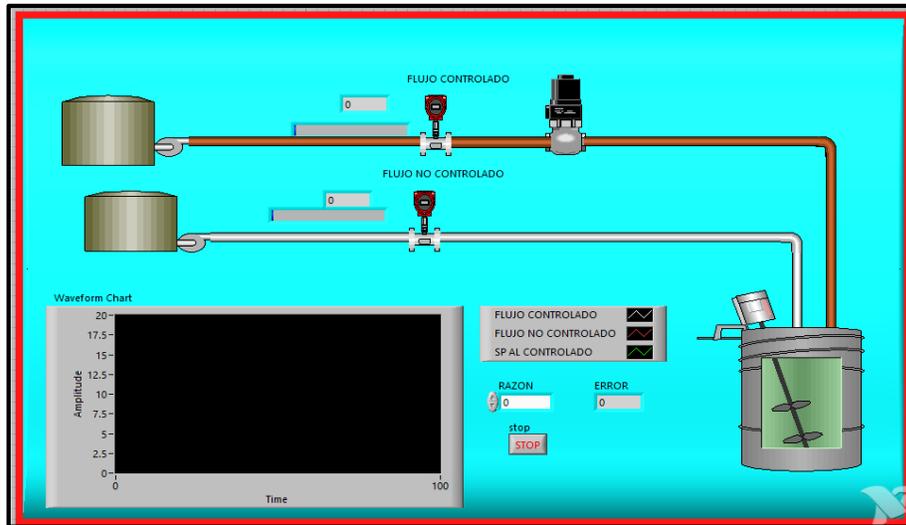


Figura N° 29: Panel frontal de la programación del Labview

Fuente: Elaboración Propia

De esta manera, el funcionamiento consistió en adquirir dos señales de los transmisores de flujo con respecto a las líneas del flujo controlado y no controlado, mediante la tarjeta de adquisición de datos (NI DAQ 6008). La señal recibida del flujo no controlado sirve para definir el set point, ya que esta entra en producto con el valor de la razón deseada. Recibida la señal del flujo controlado se convierte en una variable de proceso que será comparada con el Set-Point ya asignado. Al ser comparados, el controlador PI genera señales de salida analógica que componen a un voltaje necesario para abrir, mantener o cerrar la válvula de acuerdo al valor deseado. Ver figura N° 29.

3.6 Sintonización del controlado PI

3.6.1 Sintonización por Ziegler y Nichols

Para la sintonización de Ziegler y Nichols por el método de ganancia limite se calculó los tres términos de ajuste, para el K_c se incrementó gradualmente hasta crear pequeños cambios en la variable proceso, obteniendo oscilaciones de manera continua, con un T_i igual a 9999999.0 y T_d igual a 0. En la figura N° 30 se muestra las oscilaciones continuas con un K_c igual a 4 y los parámetros asignados.

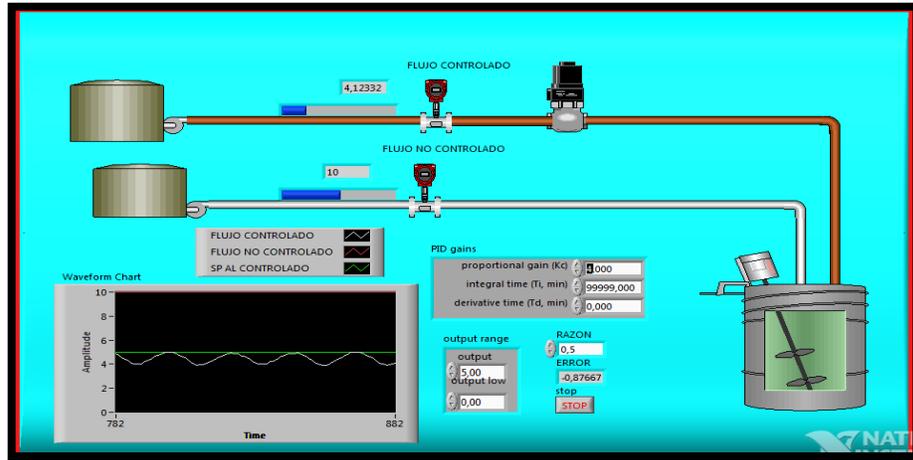


Figura N° 30: Sintonización por Ziegler y Nichols-Labview

Fuente: Elaboración Propia

Con las pruebas realizadas se definió el K_c igual a 4 y se obtuvo el valor de un periodo igual a 20 segundos, estos valores se utilizaron para calcular el K_p y T_i mediante el uso de la tabla del método de ganancia limite (Ver tabla N° 1).

En la figura N° 31 se muestra la sintonización del controlador PI con un T_i igual a 0.29 y K_p igual a 1,8 con un error de 1,28 LPM con respecto a la variable controlada.

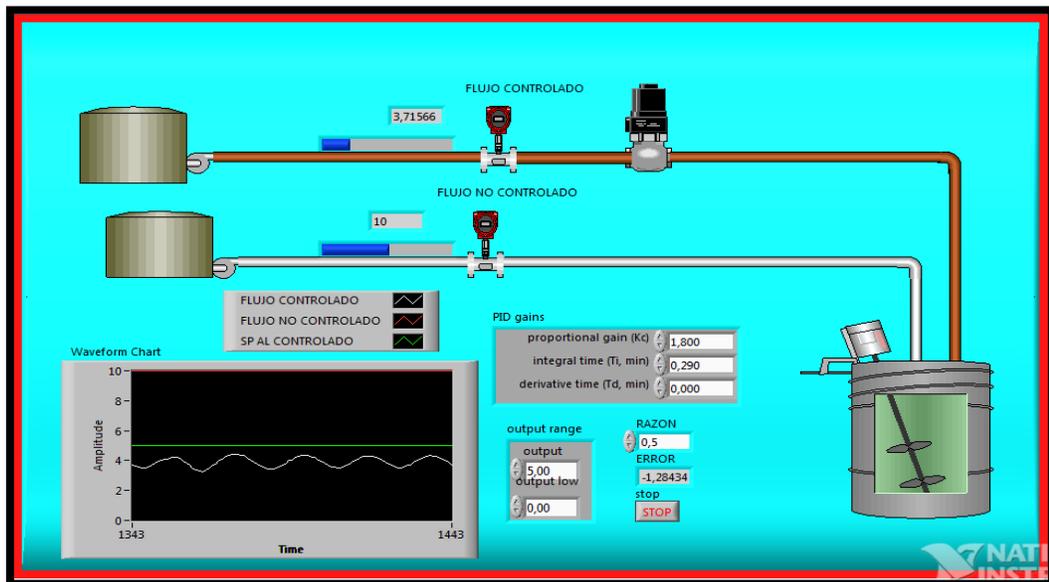


Figura N° 31: Sintonización del controlador PI por Ziegler y Nichols-Labview

Fuente: Elaboración Propia

3.6.2 Sintonización por variante del método por Prueba y Error

Para lograr la sintonización se utilizó una variante del método por Prueba y error, este inició con un K_p pequeño y se incrementó gradualmente hasta encontrar oscilaciones sostenidas en la variable proceso. Así mismo se incrementó gradualmente el valor de T_i hasta obtener una respuesta mas estable. En la figura N° 32 se muestra el incremento gradual del K_p igual a 2 y T_i igual a 0,170 con respecto a la variable controlada.

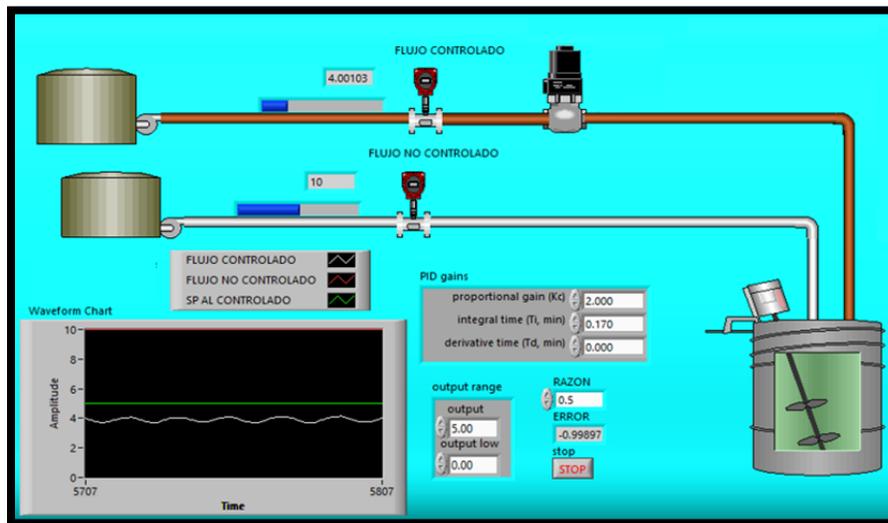


Figura N° 32: Sintonización por Prueba y Error -Labview

Fuente: Elaboración Propia

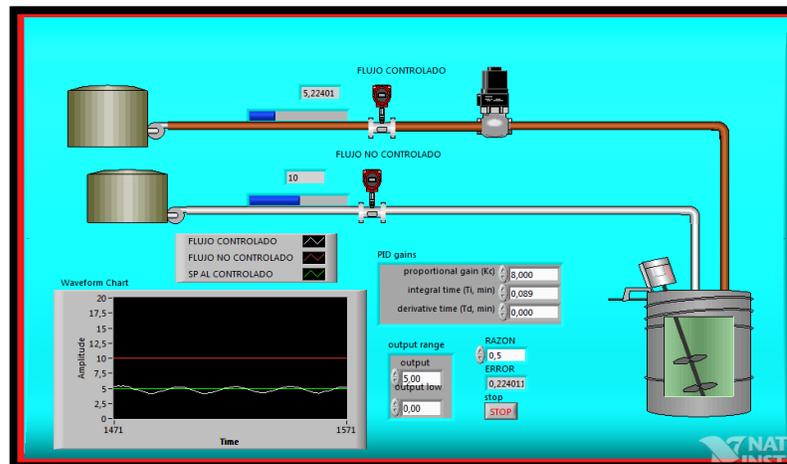


Figura N° 33: Sintonización de control PI por Prueba y Error -Labview

Fuente: Elaboración Propia

Luego de haber incrementado los parámetros K_p y T_i hasta obtener una respuesta cercana al Set-point se procedió con el ajuste fino, esto consiste en aumentar o disminuir los valores de K_p y T_i para lograr una mejor respuesta en la señal de la variable controlada. En la figura N° 33 se muestra la sintonización del controlador PI luego de haber realizado el ajuste fino, con un K_p igual a 8 y T_i igual a 0,089 con un error de ± 0.5 LPM) con respecto a la variable controlada.

CAPÍTULO IV: PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se observan los resultados obtenidos de todas las pruebas realizadas al módulo de Control de Razón. Se asignaron los valores de K_p y T_i obtenidos por la variante del método por Prueba y error; ya que presentó un error menor con respecto a la sintonización por Ziegler y Nichols. Además para las pruebas realizadas sin perturbaciones se consideró dos minutos aproximadamente y para las pruebas con presencia de perturbaciones se consideró 4 minutos aproximadamente.

4.1 Análisis del resultado con SP1

Para las pruebas realizadas con SP1 (Set-Point 1) se eligió como primer factor de razón 0.7, este factor generó un Set-Point al flujo controlado de 7 LPM (Litros Por Minuto). En la figura N° 34 se muestra el interfaz de usuario donde se observan los dos tanques que simulan a los tanques reales, la electroválvula, variable error, la razón asignada y un gráfico que indica la señal del flujo controlado, la señal del flujo no controlado y el Set-Point para el flujo controlado. Además, se muestra el funcionamiento del control de razón; tomando un minuto y medio aproximadamente en estabilizarse en el Set-Point de 7 LPM.

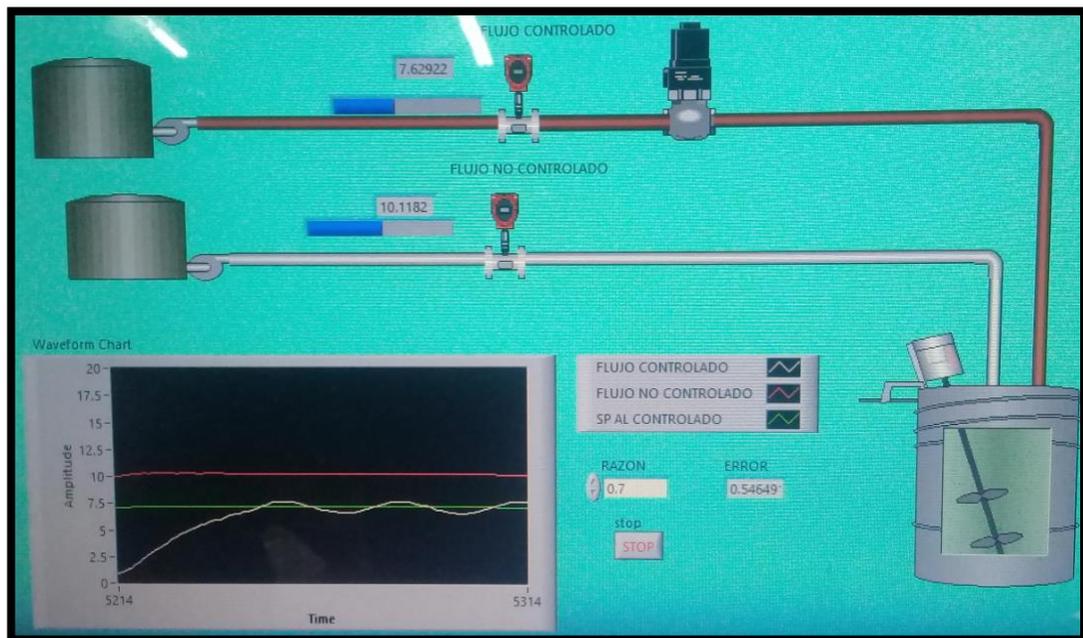


Figura N° 34: SP1=7 LPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 35, se puede observar en el tanque de mezcla el color verde producto de la combinación del color azul y el amarillo limón. De manera visual observamos que el color es un verde oscuro debido a que el SP1 es 7 LPM, este valor de SP1 hace que se combine mayor cantidad de amarillo y este hace que se vuelva más oscura la tonalidad de verde.

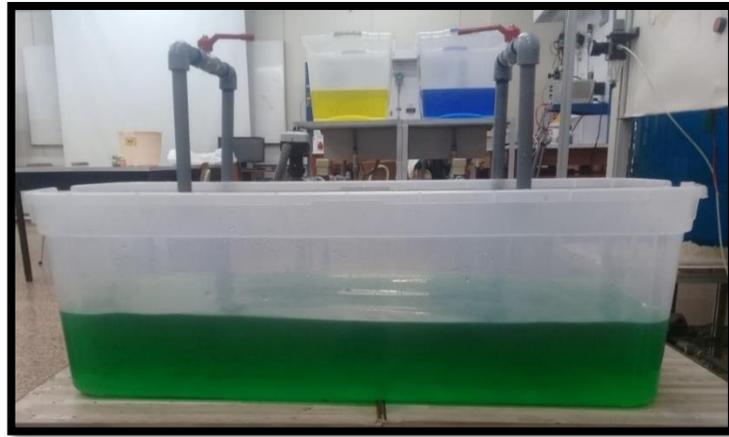


Figura N° 35: Tanque de mezcla con SP1=7 LPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 36, se observa que la respuesta del flujo controlado presenta un error de +/- 0.5 LPM con respecto al Set-Point de 7 LPM, con un tiempo de establecimiento de 90 segundos.

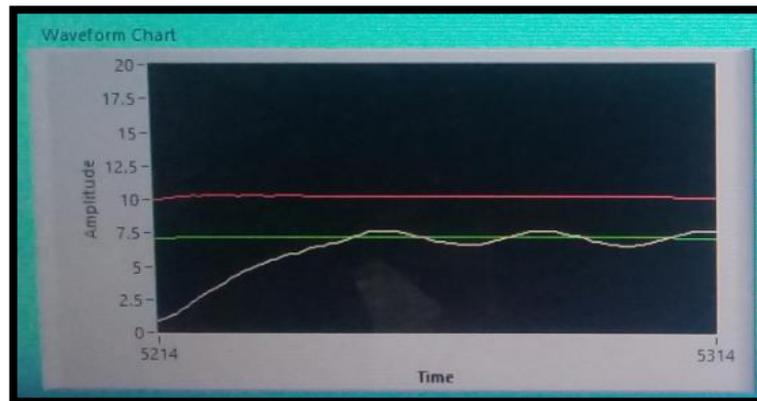


Figura N° 36: Resultado del proceso con un SP1= 7 LPM

Fuente: Elaboración Propia

4.2 Análisis del resultado con SP2

Para las pruebas realizadas con SP2 se eligió como segundo factor de razón 0.5, este factor generó un Set-Point al flujo controlado de 5 LPM. En la figura N° 37 se muestra el funcionamiento del control de razón; tomando un minuto aproximadamente en estabilizarse en el Set-Point de 5 LPM.

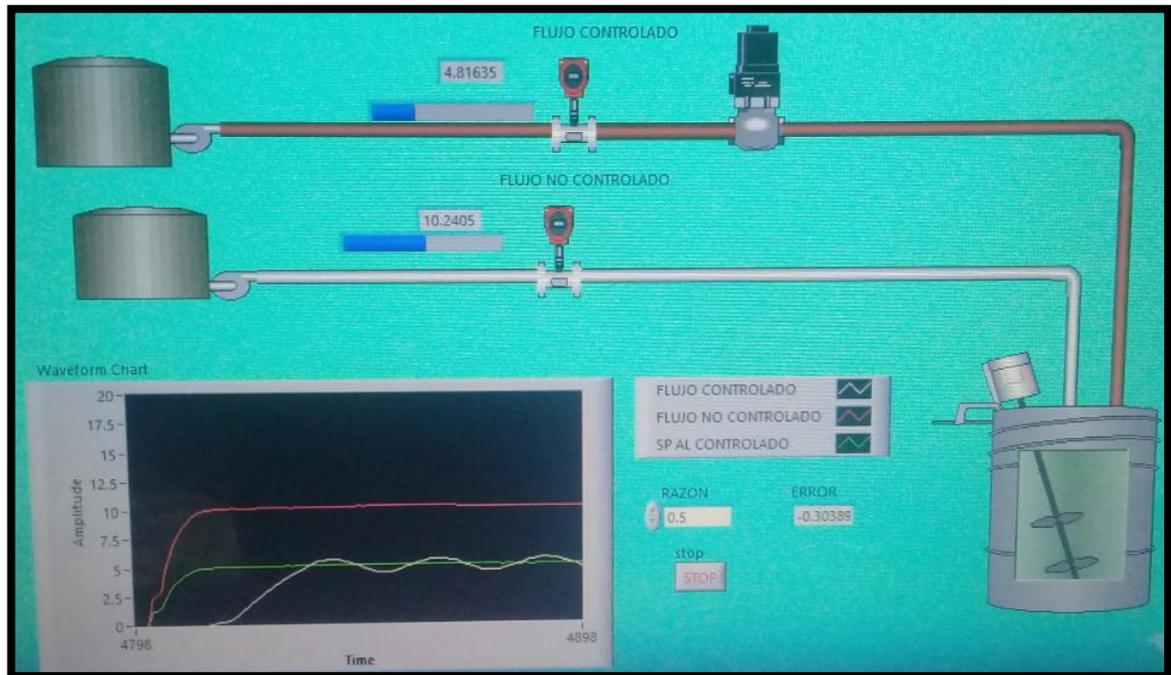


Figura N° 37: SP2= 5 LPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 38, se puede observar en el tanque de mezcla el color verde producto de la combinación del color azul y el amarillo limón. De manera visual observamos que el color es un verde esmeralda debido a que el SP2 es 5 LPM, este valor de SP2 hace que se combine menos cantidad de amarillo y esto hace que se aclare la tonalidad de verde a diferencia del resultado del tanque de mezcla del SP1.

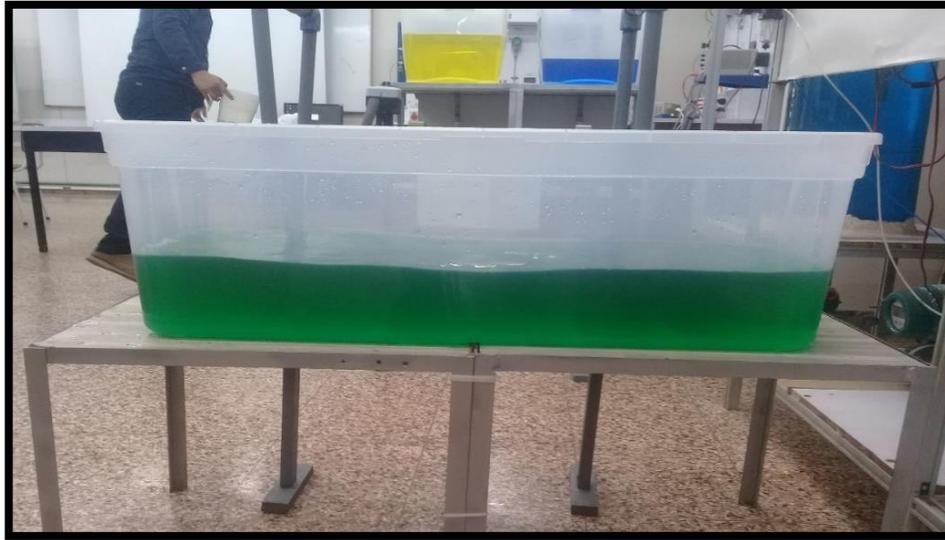


Figura N° 38: Tanque de mezcla con SP2=5 LPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 39, se observa que la respuesta del flujo controlado presenta un error de ± 0.5 LPM con respecto al Set-Point de 5 LPM, con un tiempo de establecimiento de 60 segundos.

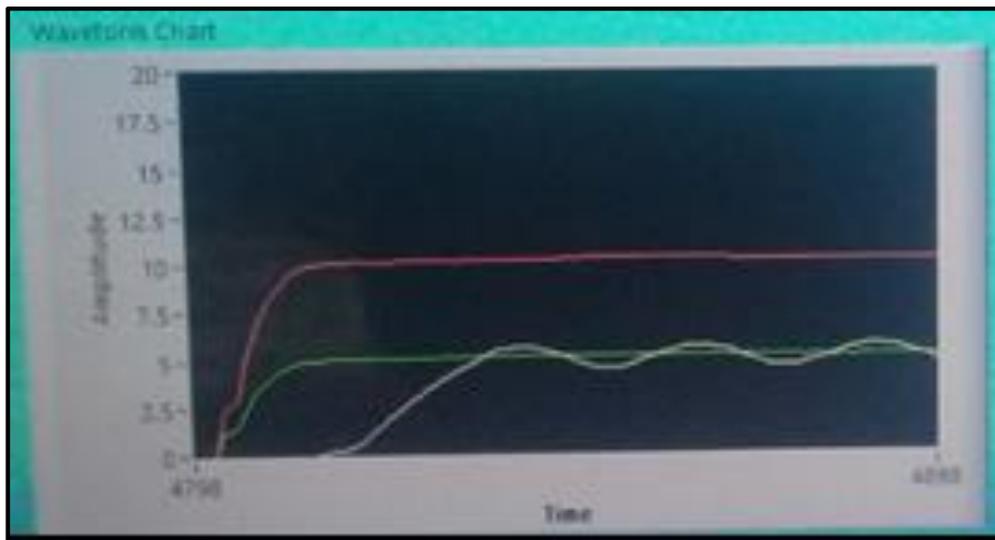


Figura N° 39: Resultado del proceso con un SP2= 5 LPM

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Análisis del resultado con SP3

Para las pruebas realizadas con SP3 se eligió como tercer factor de razón 0.3, este factor generó un Set-Point al flujo controlado de 3 LPM. En la figura N° 40 se muestra el funcionamiento del control de razón; tomando un minuto aproximadamente en estabilizarse en el Set-Point de 3 LPM.

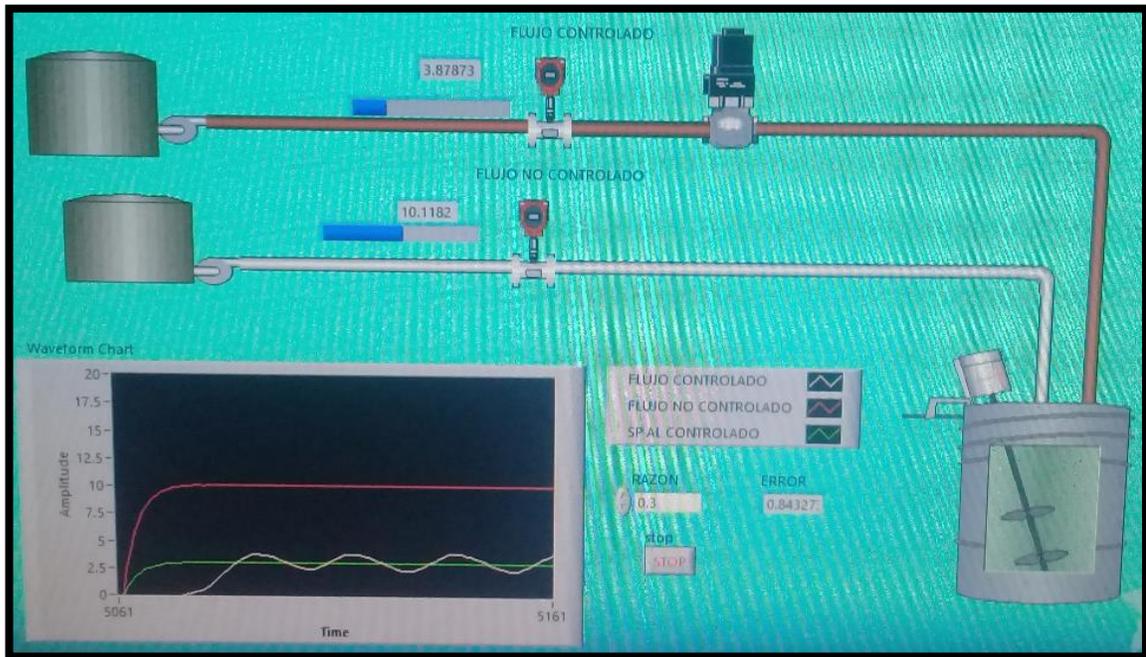


Figura N° 40: SP3=3 LPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 41, se puede observar en el tanque de mezcla el color verde producto de la combinación del color azul y el amarillo limón. De manera visual observamos que el color es un verde claro debido a que el SP3 es 3 LPM, este valor de SP3 hace que se combine menos cantidad de amarillo y esto hace que se aclare la tonalidad de verde a diferencia del resultado del tanque de mezcla del SP2.

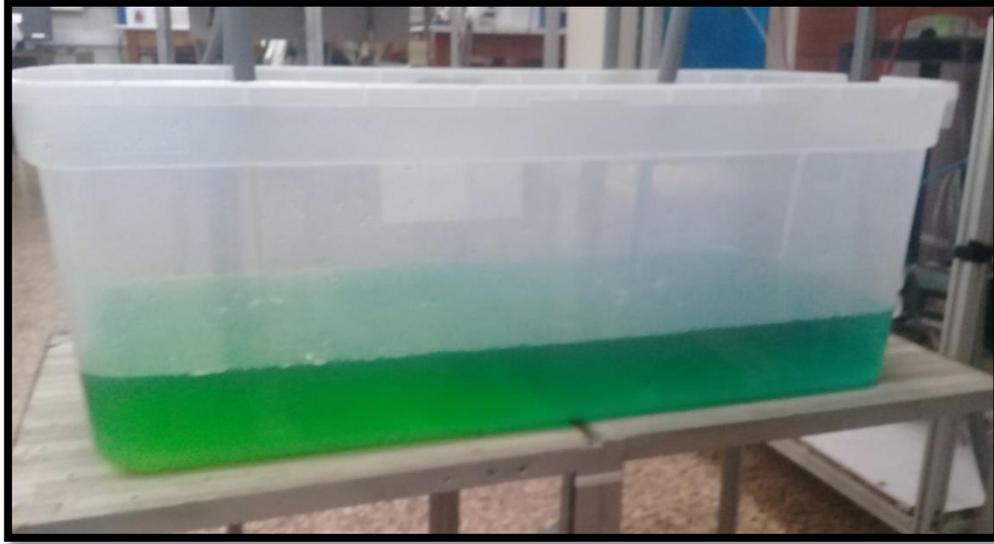


Figura N° 41: Tanque de mezcla con SP3=3 LPM

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 42, se observa que la respuesta del flujo controlado presenta un error de ± 0.8 LPM con respecto al Set-Point de 3 LPM, con un tiempo de establecimiento de 40 segundos.

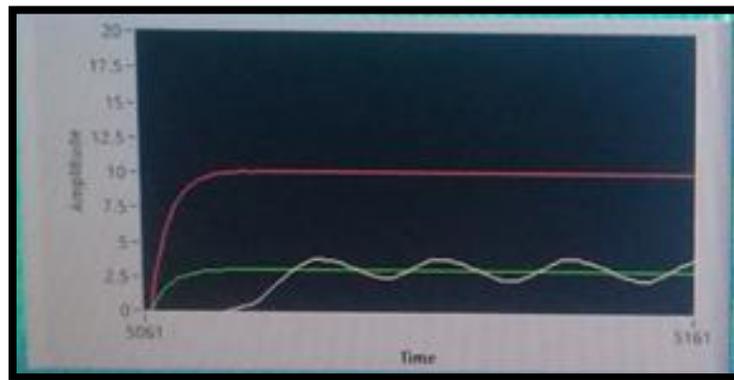


Figura N° 42: Resultado del proceso con un SP3= 3 LPM

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Análisis del resultado con SP1 y perturbación

Para las pruebas realizadas con presencia de perturbaciones se procedió a cerrar la válvula manual ubicada al final de la línea no controlada, hasta disminuir el flujo a 8 LPM. Además,

estas perturbaciones se generaron después de dos minutos del inicio del funcionamiento del proceso y se mantuvo en funcionamiento dos minutos después de las perturbaciones. Para las pruebas realizadas con el SP1 con presencia de perturbación se eligió como primer factor de razón 0.7, este factor generó un Set-Point al flujo controlado de 7 LPM. En la figura N° 43 se muestra el funcionamiento del control de razón con presencia de perturbación, reduciendo el flujo de la línea no controlada de 10 LPM a 8 LPM, por lo tanto, el Set-Point cambió de 7 LPM a 5.6 LPM, tomando un minuto aproximadamente en estabilizarse.

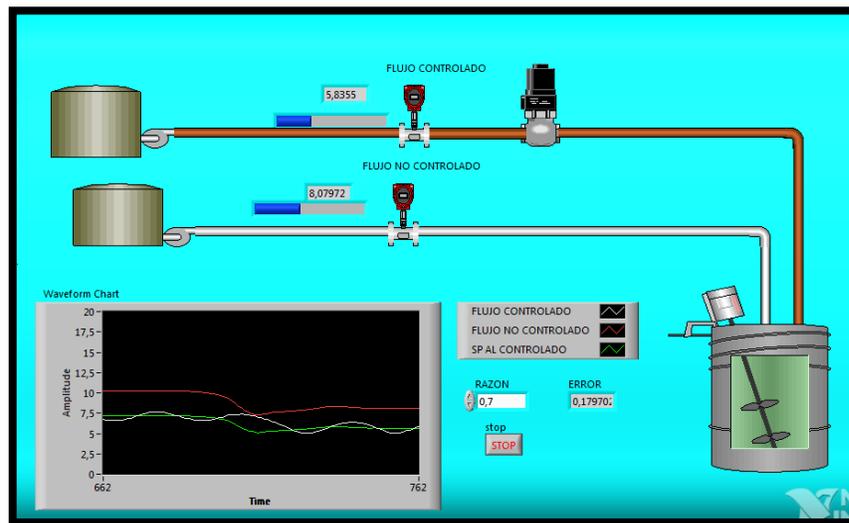


Figura N° 43: SP1=7 LPM con presencia de perturbación

Fuente: Elaboración Propia

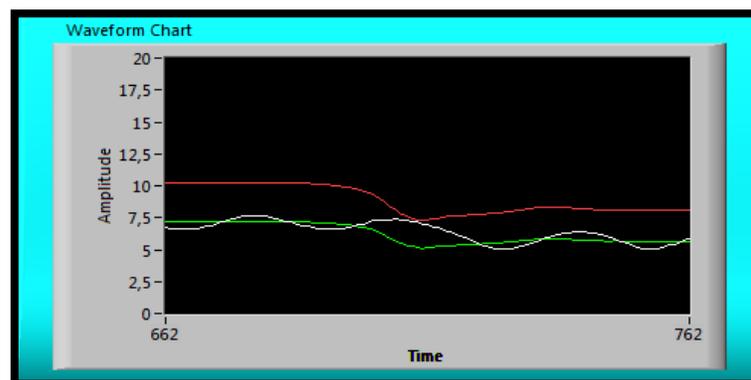


Figura N° 44: Resultado del proceso con un SP1= 7 LPM con presencia de perturbación

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 44, se muestra el comportamiento del flujo controlado con un SP1 de 7 LPM y una perturbación en la línea no controlada de 10 LPM a 8 LPM. En esta prueba vemos que el sistema para mantener la razón asignada responde regulando el flujo controlado a 5.6 LPM. Al estabilizarse la línea controlada se observó que la respuesta del flujo controlado presenta un error de +/- 0.5 LPM con respecto al Set-Point de 5.6 LPM.

4.5 Análisis del resultado con SP2 y perturbación

Para las pruebas realizadas con el SP2 con presencia de perturbación se eligió como segundo factor de razón 0.5, este factor generó un Set-Point al flujo controlado de 5 LPM. En la figura N° 45 se muestra el funcionamiento del control de razón con presencia de perturbación, reduciendo el flujo de la línea no controlada de 10 LPM a 8 LPM, asimismo como se generó para el SP1; por lo tanto, el Set-Point cambió de 5 LPM a 4 LPM, tomando un minuto aproximadamente en estabilizarse.

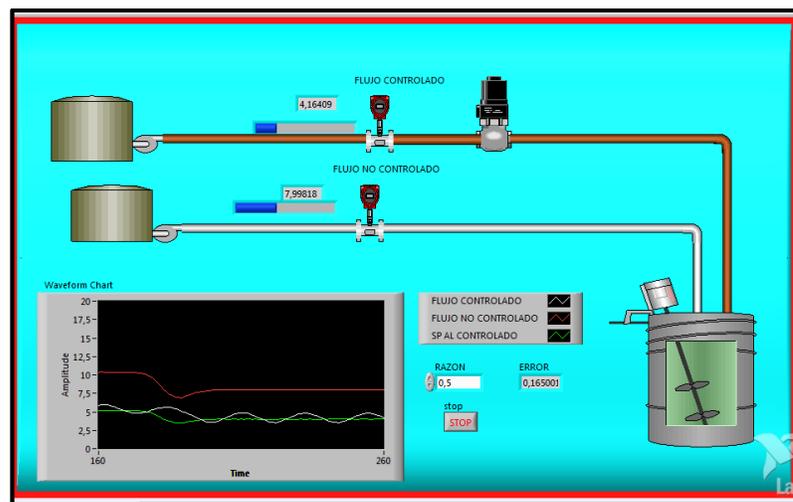


Figura N° 45: SP2=5 LPM con presencia de perturbación

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 46, se muestra el comportamiento del flujo controlado con un SP2 de 5 LPM y una perturbación en la línea no controlada de 10 LPM a 8 LPM. En esta prueba vemos que el sistema para mantener la razón asignada responde regulando el flujo controlado a 4 LPM. Al estabilizarse la línea controlada se observó que la respuesta del flujo controlado presenta con un error de +/- 0.5 LPM con respecto al Set-Point de 4 LPM

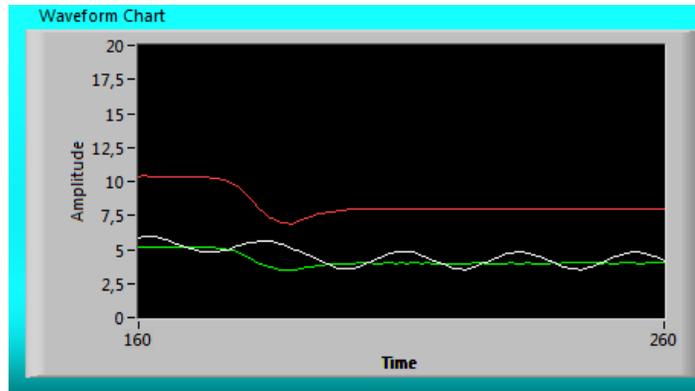


Figura N° 46: Resultado del proceso con un SP2= 5 LPM con presencia de perturbación

Fuente: Elaboración Propia

4.6 Análisis del resultado con SP3 y perturbación

Para las pruebas realizadas con el SP3 con presencia de perturbación se eligió como segundo factor de razón 0.3, este factor generó un Set-Point al flujo controlado de 3 LPM. En la figura N° 47 se muestra el funcionamiento del control de razón con presencia de perturbación, reduciendo el flujo de la línea no controlada de 10 LPM a 8 LPM, asimismo como se generó para el SP1; por lo tanto, el Set-Point cambió de 3 LPM a 2.4 LPM. Tomando un minuto aproximadamente en estabilizarse.

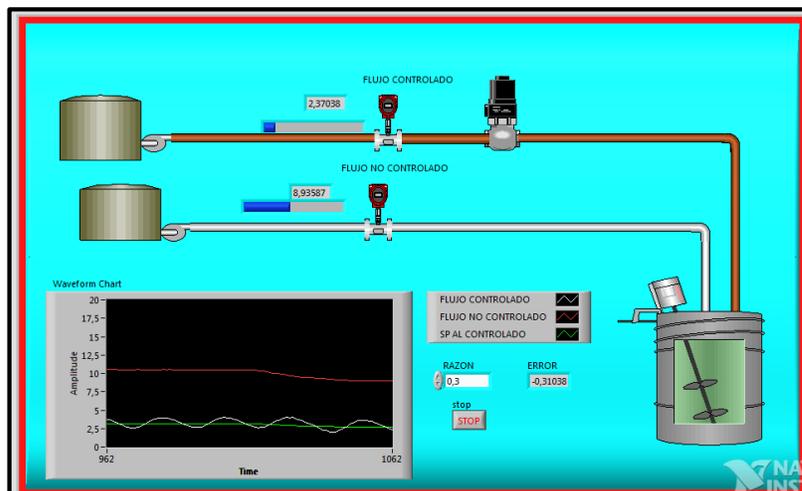


Figura N° 47: SP3=3 LPM con presencia de perturbación

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 48, se muestra el comportamiento del flujo controlado con un SP3 de 5 LPM y una perturbación en la línea no controlada de 10 LPM a 8 LPM. En esta prueba vemos que el sistema para mantener la razón asignada responde regulando el flujo controlado a 2.4 LPM. Al estabilizarse la línea controlada se observó que la respuesta del flujo controlado presenta un error de +/- 0.7 LPM con respecto al Set-Point de 2.4 LPM.

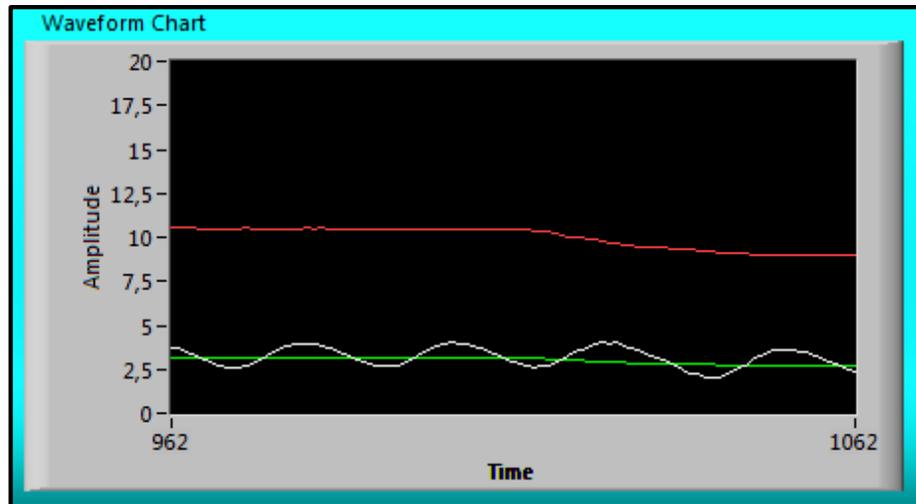


Figura N° 48: Resultado del proceso con un SP3= 3 LPM con presencia de perturbación

Fuente: Elaboración Propia

4.7 Comparaciones finales

En esta sección se procede a detallar mediante cuadros las comparaciones de los resultados obtenidos en los distintos Set-Point analizados anteriormente.

En la tabla N° 3 se muestran los resultados obtenidos sin presencia de perturbación al proceso. Los valores mostrados son obtenidos por el producto de las pruebas realizadas con diferentes Set-Point en cada línea, estas pruebas se realizaron con dos minutos aproximadamente de funcionamiento.

En la tabla N° 4 se muestran los resultados obtenidos con presencia de perturbación al proceso. Los valores mostrados son obtenidos por el producto de las pruebas realizadas con diferentes Set-Point en cada línea. Además, estas pruebas se realizaron con cuatro minutos aproximadamente de funcionamiento.

Tabla N° 3: Valores sin presencia de perturbación

Sin perturbación		Factor Razón 0.7 SP1 = 7 LPM	Factor Razón 0.5 SP2 = 5 LPM	Factor Razón 0.3 SP3 = 3 LPM	Tiempo de estabilización
Flujo no controlado (LPM)		10.1	10.1	10.1	1 minuto
Flujo controlado (LPM)	Máximo	7.5	5.5	3.8	
	Mínimo	6.5	4.5	2.2	
Razón máximo y mínimo		0.74 0.64	0.54 0.44	0.37 0.217	
Error		+/- 0.04	+/- 0.04	+/- 0.07	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla N° 4: Valores con presencia de perturbación

Con perturbación		Factor Razón 0.7 SP1 = 5.6 LPM	Factor Razón 0.5 SP2 = 4 LPM	Factor Razón 0.3 SP3 = 2.4 LPM	Tiempo de estabilización
Flujo no controlado (LPM)		8	8	8	1 minuto
Flujo controlado (LPM)	Máximo	6.1	4.5	3.2	
	Mínimo	5.1	3.5	1.6	
Razón máximo y mínimo		0.762 0.637	0.56 0.437	0.4 0.2	
Error		+/- 0.06	+/- 0.06	+/- 0.1	

Fuente: Elaboración Propia

Como se observa en las tablas 3 y 4 el error que se presenta en las pruebas realizadas con o sin presencia de perturbación van a variar de acuerdo al Set-Point asignado. Para las pruebas con presencia de perturbaciones se obtuvo un error de +/- 0.06 respecto a los factores de razón de 0.7 y 0.5, y un error de +/- 0.1 respecto al factor de razón de 0.3.

4.8 Cuadro de funcionamiento de la electroválvula

En la tabla N° 5 se muestra el funcionamiento de la electroválvula con respecto al flujo que pasa por la línea controlada.

Tabla N° 5: Funcionamiento de la electroválvula

Porcentaje de apertura de la electroválvula (%)	Voltaje de la electroválvula (V)	Flujo (LPM)
100%	10	10
90%	9	9,7
80%	8	9,5
70%	7	8,2
60%	6	6,9
50%	5	5,9
40%	4	4,5
30%	3	3
20%	2	1,1
10%	1	0,5

Fuente: Elaboración Propia

4.9 Tabla de costo

En la tabla N° 6, se detalla el costo de los materiales para la implementación del módulo de control de razón.

Tabla N° 6: Tabla de costo

N°	Materiales	Unidad de Medida	Cantidad	Precio Total
1	Flujómetro tipo paleta de 1/2"	Unid	2	S/. 3,080.00
2	Electroválvula Danfoss de 1/2"	Unid	1	S/. 1,200.00
3	DAQ NI USB 6008	Unid	1	S/. 900.00
4	Tubo de PVC de 1/2"	Unid	5	S/. 70.00
5	Bomba de agua de 1/2 HP	Unid	2	S/. 179.80
6	Válvula esférica de 1/2"	Unid	2	S/. 59.80
7	Codos de PVC de 1/2"	Unid	7	S/. 8.40
8	Reductor de PVC de 1" a 1/2"	Unid	2	S/. 4.00
9	Conector T para PVC de 1/2"	Unid	4	S/. 4.80
10	Tanques de 20 litros	Unid	3	S/. 170.00
11	Cinta Teflón 1/2"	Unid	4	S/. 12.00
12	Unión de PVC de 1/2"	Unid	4	S/. 4.00
13	Ángulo de metal 1" 1/2" x 1/8"	Mts	8	S/. 150.00
14	Pintura Esmalte Color Plomo 1/2 Gal	Unid	1	S/. 15.00
15	Labview versión 14 (Gratis)	Unid	1	S/. 0
16	Fuente de alimentación de 220V AC a 24 V DC	Unid	1	S/. 230.00
17	Llave térmica de 16A	Unid	1	S/. 30.00
18	Suministros para la instalación	GLB	1	S/. 50.00
19	Mano de obra	Día	5	S/. 500.00
			Total	S/. 6,667.80

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

1. Se logró construir un módulo de control de razón para controlar la proporción de mezclado de dos flujos con un controlador PI. El módulo está conformado por tres tanques acoplados, una electroválvula, dos bombas de agua, dos variadores de velocidad, dos transmisores de flujo, una tarjeta de adquisición de datos y las conexiones respectivas entre los elementos. Además, se utilizó un acondicionamiento para la salida de la tarjeta de adquisición de datos hacia la electroválvula. El módulo implementado permitió visualizar el funcionamiento del mismo, permitiendo observar en tiempo real como se logra obtener la proporción entre los dos flujos al asignar la razón por medio del controlador PI. Asimismo, todo el módulo construido alcanzó una dimensión de 3.20 m de largo x 1.45 m de alto x 1.00 m de ancho.
2. Se realizó la sintonización en el controlador PI, logrando obtener los parámetros de K_p y T_i , y con apoyo de la librería del software Labview. Para esto se utilizó el método de sintonización de Ziegler y Nichols por ganancia Limite y una variante del método de sintonización por prueba y error. Estos métodos de sintonización permitieron definir la ganancia proporcional y el tiempo integral. Para el caso de la sintonización por Ziegler y Nichols por el método de ganancia limite se obtuvieron los valores de $K_p=1.8$ y $T_i=0.29$ por fórmulas ya establecidas, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la dinámica del sistema controlado, con un error de 1.28 LPM con respecto al Set-Point del flujo controlado. Así mismo con la variante del método por prueba y error se obtuvieron los valores del $K_p=8$ y $T_i=0.089$, variando los valores hasta obtener una respuesta estable y con un mínimo error de +/-0.5 LPM con respecto al Set-Point del flujo controlado, por lo tanto, se eligió este método para realizar las pruebas con presencia de perturbaciones.
3. Se analizaron los resultados obtenidos de las pruebas con presencia de perturbaciones, con diferentes factores de Razón asignados (Factor de razón de 0.7, 0.5 y 0.3), estas perturbaciones generaron distintos valores de Set-Point (SP1=5.6 LPM, SP2=4 LPM

y SP3=2.4 LPM) debido al cambio de flujo en la línea no controlada. Para los factores de razón de 0.7 y 0.5 se logró mantener la relación con un error de +/- 0,06 y para el factor de razón de 0.3 se obtuvo un error de +/-0,1. Además, para las pruebas con presencia de perturbación fue necesario considerar cuatro minutos aproximadamente de funcionamiento; tomando aproximadamente un minuto para estabilizar el flujo controlado al iniciar el proceso y otro minuto luego de la perturbación generada.

RECOMENDACIONES

1. Se debe dimensionar una válvula de acuerdo a las condiciones y características del proceso para un mejor funcionamiento del módulo de control de razón.
2. Las mediciones de los transmisores de flujo tienen una precisión de $\pm 1\%$, para poder reducir este error se requiere cambiar por otros transmisores con más precisión.
3. Para realizar una verificación más precisa de los resultados obtenidos de la mezcla de los dos líquidos distintos se recomienda el uso de un Datacolor.
4. Al realizar las pruebas de mezclado de los dos líquidos distintos se utilizó agua de color, se podría trabajar con otros materiales como jugos, gasolina, entre otros, Teniendo en cuenta los datos del proceso se definen los transmisores de flujo, electroválvulas, tanques, tuberías y el tipo de soporte.
5. Se recomienda continuar con la investigación para verificar si un controlador PID puede mejorar el proceso con la estrategia de control de razón.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acedo, J. (2003). *Control Avanzado de Procesos*. Primera edición. España: Alfaomega grupo editor.
- Amesquista J. y Maytaz, E. [Jorge Leonardo Amesquita Asqui]. (2017, Junio 28). *Ratio Control Labview Proyecto* [archivo de video]. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=4k6gbYspgzs>.
- Castillo, P. (2008). *Estructura del controlador PID*. Recuperado de https://es.slideshare.net/ptah_enki/estructura-del-control-pid [Consulta: 23 junio 2018].
- Creus, A. (2010). *Instrumentación Industrial*. Octava edición. México: Ediciones Díaz de Santos.
- Cuadros, C., Ñaupari, Ñ., Pascual, J. y Salgado, F. (2011). *Control de razón*, (Informe Técnico del Laboratorio de Control Automático II). TECSUP-Perú.
- Domínguez, J. (2013). *Válvula de Control Automático*. Recuperado de <http://sisteunefaim.blogspot.com/2013/01/valvula-de-control-automatgico.html> [Consulta: 02 agosto 2018].
- Galván, B. y Meza, C. (2017). *Implementación de un módulo conformado por tanques acoplados para controlar el nivel por medio de un controlador difuso*. (Tesis de Ingeniero Electrónico). Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma-Perú.
- Heartson, S., Sajeena, S., (2013). *Control Strategy for Flow Control for Maintaining Exact Reflux*, (Paper). Government Engineering College Thrissur-India.
- Linares, G. e Iparraguirre, M. (2016). *Diseño de un prototipo automatizado de un tanque de mezcla de insumos químicos en una industria del rubro textil*. (Tesis de Ingeniero Electrónico). Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Ricardo Palma-Perú.

Mazzone, V. (2002). *Controladores PID*, (Artículo de Control Automático 1). Departamento de automatización y control Industrial, Universidad Nacional de Quilmes-Argentina.

Montenegro, J. y Arthos, H. (2012). *Diseño e implementación de un módulo didáctico dosificador de líquidos por diferencia de pesos*. (Proyecto de grado para la obtención del título en Ingeniería). Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del ejército-Ecuador.

Peña, F. y Poveda, O. (2015). *Diseño e implementación de un sistema de control de caudal e interfaz gráfica de usuario en planta didáctica del laboratorio de mecánica de la facultad Tecnológica*. (Tesis de Ingeniería de Control). Universidad distrital Francisco José de Caldas-Colombia.

Vildósola E. (2013). *Actuadores*. Artículo. Chile: Soltex.

ANEXOS

Igualación de Color Inteligente



LÓ QUE DICEN NUESTROS CLIENTES:

"Proporcionamos servicios de igualación de color para varios fabricantes de pinturas decorativas de modo que el tiempo y la calidad de igualación es vital. Con el Smart Colorator y la tecnología SmartMatch, Match Pigment consigue formular entusiasmante aun los colores más oscuros y más saturados".

Roman Berný, Gerente General de Replac-BM, República Checa

"Resultado indispensable para nuestra aplicación. Ahora podemos fácilmente ajustar el color de l acabado mientras agregamos agentes mateantes específicos. Como resultado, nuestros costos de desarrollo se han reducido hasta en un 50%".

A. Soukral, Gerente Técnico de Langro-Chemie Theo Lang GmbH, Stuttgart, Alemania

Software potente y preciso para la igualación del color

Para los profesionales del color en pinturas, pigmentos y plásticos, Match Pigment ofrece igualaciones superiores al primer intento gracias a las poderosas herramientas que optimizan el costo y la calidad de las fórmulas.

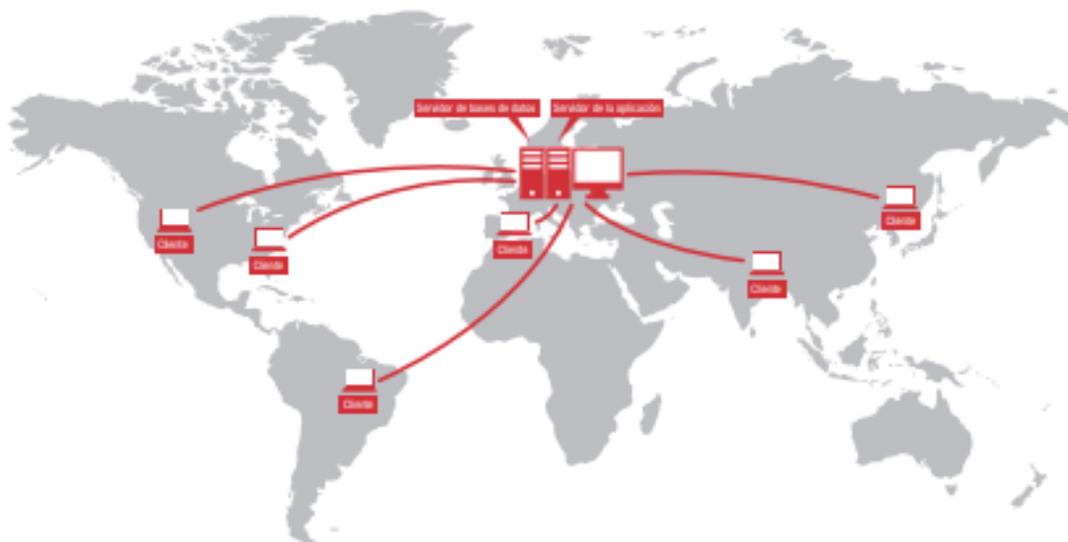
Aumente la productividad y ahorre tiempo y dinero con un motor de igualación más rápido y más inteligente.

Optimice su proceso de color con una solución completa, respaldada por un soporte para aplicaciones a nivel mundial y específico para su industria.

MATCHPIGMENT

SOFTWARE POTENTE Y PRECISO
PARA LA IGUALACIÓN DEL COLOR

COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS	DATECOLOR MATCH [™] PLUS	DATECOLOR MATCH [™] PLUS WORKSTATION	DATECOLOR MATCH [™]
Iguación de color y opacidad de forma simultánea	✓	✓	✓
Navegación de datos intuitiva con gestión de usuarios	✓	✓	✓
Optimiza, califica y clasifica fórmulas	✓	✓	✓
Calibración y administración de la familia de colorantes	✓	-	✓
Calibración inteligente	✓	-	-
Tecnología SmartMatch	✓	✓	-
Iguación de Offset CE L*a*b*	✓	✓	-
Prioridad y compatibilidad de ingredientes	✓	✓	-
Función de Igualación en Serie	✓	✓	-
Mantenimiento de la línea de productos	✓	✓	-
Selección automática de bases	✓	✓	-
Intercambio de datos con Datacolor PANT	✓	✓	-
Gestión de color en la red*	✓	✓	-
Control de calidad integrado	Datacolor TOOLS Plus	Datacolor TOOLS Plus	Datacolor TOOLS Basic
Soporte de aplicaciones a nivel internacional y específico para la industria	✓	✓	✓



Gestión de color en la red habilitado mediante instalaciones de Terminal Server para versiones de Datacolor Match Pigment Plus y Datacolor Match Pigment Plus Workstation en redes locales o de área extendida.

Si desea obtener más información, visite www.datacolor.com/matchpigment

REQUISITOS DEL SISTEMA INDEPENDIENTE

Procesador Dual Core a 2 GHz o más veloz; 4 GB o más de memoria RAM; disco rígido de 500 GB de capacidad; tarjeta de vídeo de 512 MB con resolución 1624x768 o superior; unidad DVD; Puerto USB/serial; Windows 7/Windows 8

REQUISITOS DE SISTEMA PARA TERMINAL SERVER

2 GHz o más veloz; 1 núcleo/usuario simultáneo; RAM de 4 GB más 256 MB/usuario simultáneo; disco rígido RAID 5 de 500 GB de capacidad; tarjeta de vídeo de 512 MB con resolución 1624x768 o superior; unidad DVD; Puerto USB/serial; Windows Server 2008/Windows Server 2012, Ggabit o más veloz

CE	Instruction Manual / 使用手冊	F- <input type="checkbox"/>
	KT Paddle Wheel Flow Sensor & Meter Series 轉子式流量感測器 & 流量計	

Multi-function Paddle Wheel Flow meter 【KTS / KTP / KTM series】
多功能轉子流量計

- * Accuracy is less than $\pm 1.0\%$ of F.S.
- * Pulse rate (K-factor) is settable
- * Unit of Flow total meter is selectable (Liter/Gallon/Kilo-liter)
- * Unit of pulse is selectable (LPP/GPP/KLPP)
- * Status of Flow rate meter limit output (NO/NC) is changeable
- * Power on delay time is settable for Flow rate meter limit output
- * 測量精度： $\pm 1.0\%$ of F.S. max.
- * 流量係數「K」值可設定
- * 總流量計的單位可選擇（公升加侖/仟公升）
- * 脈沖輸出流量單位可選擇（公升加侖/仟公升）
- * 瞬間流量計警報輸出狀態（NO/NC）可設定
- * 瞬間流量計警報輸出延遲時間可設定

KTP series

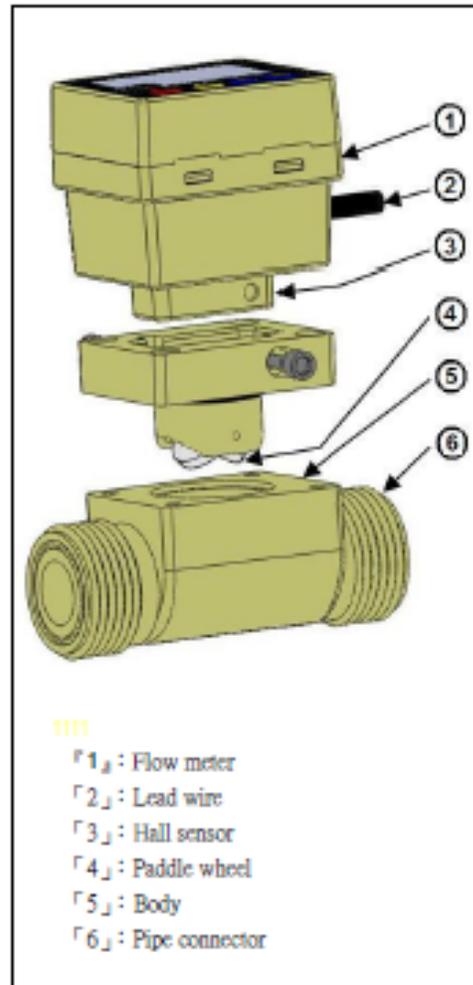
- * Limit of Flow rate meter + Flow total meter are settable
- * Communication RS-485 is optional
- * 瞬間流量計及總流量計警報輸出可設定
- * 可選用附 RS-485 通訊功能

KTM series

- * Limit of Flow rate meter + Flow total meter are settable
- * Transmitter: both of **【4~20mA】** or **【0~5V】**
- * 瞬間流量計及總流量計警報輸出可設定
- * 附傳送器：**【4~20mA】** 或 **【0~5V】**

KTS series

- * Limit of Flow rate meter is settable
- * Flow rate meter limit output: Relay (1a)
- * Unit of pulse is selectable (LPP/GPP/KLPP)
- * 瞬間流量計警報輸出可設定
- * 瞬間流量計警報輸出：繼電器（1a 接點）
- * 脈沖輸出流量單位可選擇（公升加侖/仟公升）



◆ Guiding of model / 型號索引

KTP- 15 - RS - PF - M12

1 2 3 4 5

1 : Series / 系列

- 「KTM」 = Paddle Wheel Flow rate Meter with transmitter
- 「KTP」 = Paddle Wheel Flow rate Meter& Flow total meter
- 「KTS」 = Paddle Wheel Flow rate Meter
- 「KTW」 = Paddle Wheel Flow Sensor

2 : Pipe size / 管徑

- 「15」 = 「DN15 (1/2")」 / 「20」 = 「DN20 (3/4")」
- 「25」 = 「DN25 (1")」 / 「40」 = 「DN40 (1 1/2")」
- 「50」 = 「DN50 (2")」

3 : Communication or Transmitter / 通訊或傳送方式

- 「Non」 = Without communication
- 「RS」 = KTP series with RS-485 or MODBUS selectable
- 「A」 = KTM & KTW series with Transmitter (4 ~ 20mA)
- 「V」 = KTM & KTW series with Transmitter (0 ~ 5V)
- 「P」 = KTW series pulse output only

4 : Material of Union / 接管材質

- 「PP」 = PP
- 「PF」 = PVDF
- 「PVC」 = PVC
- 「ST」 = SUS 316

5 : Connection method / 出線方式

- 「Non」 = Lead wire (3m)
- 「5m」 = Lead wire (5m)
- 「M12」 = Connector M12

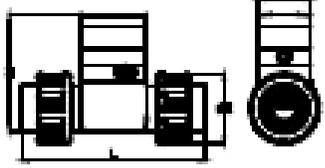
◆ General Data / 共同規格

Specification	規格	Description
Fluid	量測液體	Water or Chemical fluid
Accuracy	量測精度	± 2.0% of F.S. @ 25°C
Flow velocity	最大流速	10 m / s max.
Low cut	最小流速	0.3 m / s min.
Operating press.	工作壓力	5 kg / cm ²
Range ability	流量範圍	10 : 1
Response time	反應時間	Real time
Material	材質	Paddle : Tefzel ; Body : PP
Operating temperature	工作溫度	「PVC」 < 50°C / 「PP」 < 80°C / 「PF」 < 100°C / 「ST」 < 120°C
Operating circumstance	工作環境	-20°C ~ +80°C ; 35% ~ 85% RH
Protection class	保護等級	IP-65
Approval	認證	CE

◆ Specification / 規格

Product	產品	Flow meter			Flow sensor
Model	型號	KTS - □□	KTP - □□	KTM - □□	KTW - □□
Operating voltage	工作電壓	10 ~ 30VDC			12~24VDC
Current consumption	消耗電流	50mA max.			50mA max.
Flow rate meter (LPM)	瞬間流量計	0.0 ~ 999.9 LPM (4 digits)			Non
Control output (LPM)	控制輸出	Relay	NPN (150mA max.)		Non
Flow Total meter (FTM)	總流量計	Non	0 ~ 999999 (8 digits)		Non
Control output (FTM)	控制輸出	Non	NPN (150mA max.)		Non
Transmitter	傳送器	NPN Pulse output	Non	4 ~ 20mA or 0 ~ 5V	4 ~ 20mA or 0 ~ 5V
Communication	通訊模式	Non	RS-485 (Optional)	Non	Non
Approval	認證	CE			

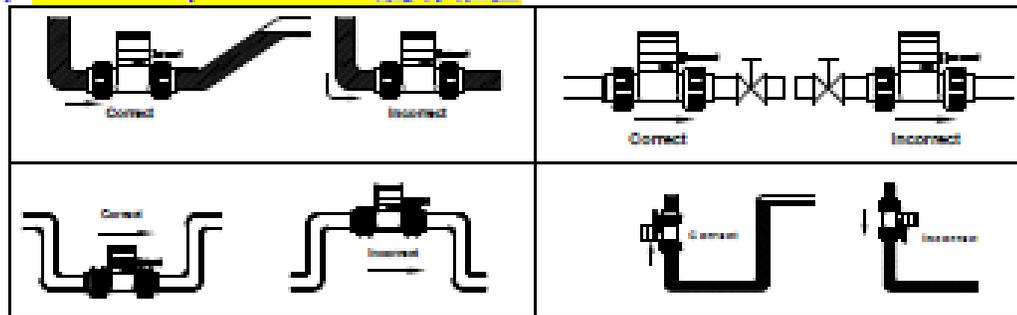
◆ Dimension / 外形圖

	Pipe size 管徑	H		L	ΦD	
		Pulse output	Linear output			KTM / KTP
	DN15	78	86	95	140	41
	DN20	80	88	97	150	53
	DN25	83.3	91.3	100.3	160	60
	DN40	101.6	109.6	118.6	185	83
DN50	115.4	123.4	132.4	196.8	110	

◆ Standard pipe size/標準管徑

Pipe size (O.D.)	JIS	ANSI	DIN	Flow rate (LPM)	
				0.3m/s min.	10m/s max.
DN15 (1/2")	φ 18	φ 21.34	φ 20	3.5	120.0
DN20 (3/4")	φ 26	φ 26.67	φ 25	5.0	170.0
DN25 (1")	φ 32	φ 33.40	φ 32	9.0	300.0
DN40 (1 1/2")	φ 48	φ 48.26	φ 50	25.0	850.0
DN50 (2")	φ 60	φ 60.32	φ 63	40.0	1350.0

◆ Installation positions / 正確安裝位置



◆ Notice of Installation / 安裝注意事項

- 1> Please make sure the measuring tube must be filled with the fluid under normal operation.
請確保測量管線滿水位狀態，否則會造成量測誤差。
- 2> KT series can be installed at horizontal or vertical direction.
KT 系列可以水平或垂直安裝。
- 3> Please set enough length of straight pipe to avoid the vortex might be existed.
(The minimum straight upstream must be over 10 x DN and downstream must be observed over 3 x DN)
安裝流量感測器時請在流量感測器前後保留適當長度的直管以防止產生回流。
- 3> Please adopt filtering device in the upstream to avoid the paddle wheel from be damaged by the solids or fibers.
請在流量感測器前安裝適當的濾網以避免異物破壞轉子。
- 5> Please do not flush the pipe after the measuring unit being installed, if do, that may crack the ceramic shaft.
流量感測器完成安裝後請勿再沖洗管路，否則可能毀損陶瓷轉軸。

陽明電機股份有限公司
FOTEK CONTROLS CO.,LTD.

Specification may be modified without notice in advance. Copyright © fotek 2008/10/10 F-□□



Data sheet

Actuator for modulating control AME 435

Description



AME 435 actuator is used with two and three-way valves type VRB, VRG, VF and VL up to DN 80 diameter.

The actuator automatically adapts its stroke to the valve end positions which reduces commissioning time (self stroking). The advanced design incorporates load related 'switch-off' to ensure that actuators and valves are not exposed to overload.

Main data:

- Nominal voltage:
 - 24 V, 50 Hz/60 Hz
- Control input signal:
 - 0(1) ... 20 mA
 - 0(2) ... 10 V
- Force: 400 N
- Stroke: 20 mm
- Speed (selectable):
 - 7.5 s/mm
 - 15 s/mm
- Max. medium temperature: 130 °C
- LED signalisation
- Self stroking
- External RESET button
- Manual operation

Ordering

Type	Supply voltage	Code No.
AME 435	24 VAC/VDC	08240161

Accessories

Type	Code No.
Adapter for old valves VRB, VRG, VF, VL	06520212

Technical data

Power supply	24 VAC/VDC; ±10%
Power consumption	4.5 VA
Frequency	50 Hz/60 Hz
Control input Y	0 ... 10 V (2 ... 10 V) Rl = 95 kΩ 0 ... 20 mA (4 ... 20 mA) Rl = 500 Ω
Output signal X	0 to 10V (2 to 10V) Rl = 650 Ω (maximal load)
Close of force	400 N
Max. stroke	20 mm
Speed	7.5 s/mm or 15 s/mm
Max. medium temperature	130 °C
Ambient temperature	0 ... 55 °C
Storage and transport temperature	-40 ... +70 °C
Protection class	II
Degree of protection	IP 54
Weight	0.45 kg
CE - marking in accordance with standards	Low Voltage Directive (LVD) 2006/95/EC: EN 60730-1, EN 60730-2-14 EMC Directive 2004/108/EC: EN 60730-1, EN 60730-2-14



Note Do not install a device if it appears damaged in any way.

3. Unpack any other items and documentation from the kit.

Store the device in the antistatic package when the device is not in use.

Setting Up the NI USB-6008/6009

Complete the following steps to get started with the NI USB-6008/6009.



Note For information about non-Windows operating support, refer to the *Getting Started with NI-DAQmx Base* document available from ni.com/manuals.

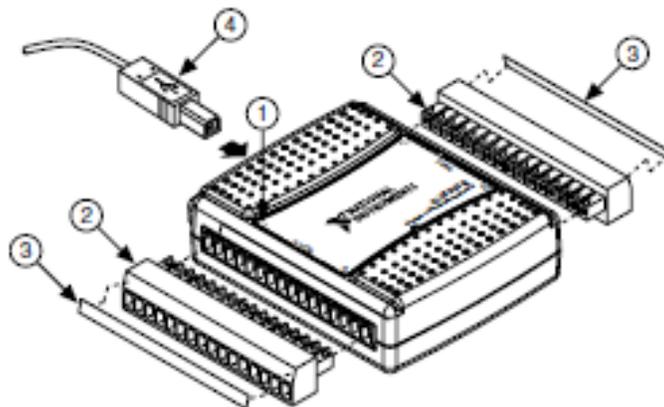
1. Install the application software (if applicable), as described in the installation instructions that accompany your software.
2. Install NI-DAQmx³.



Note The NI-DAQmx software is included on the disk shipped with your kit and is available for download at ni.com/support. The documentation for NI-DAQmx is available after installation from **Start»All Programs»National Instruments»NI-DAQmx**. Other NI documentation is available from ni.com/manuals.

3. Install the 16-position screw terminal plugs by inserting them into the connector jacks, as shown in the following figure.

Figure 2. Signal Label Application Diagram



- | | |
|--|-----------------|
| 1. Overlay Label with Pin Orientation Guides | 3. Signal Label |
| 2. Screw Terminal Connector Plug | 4. USB Cable |

4. Affix the provided signal labels to the screw terminal connector plugs. You can choose labels with pin numbers, signal names, or blank labels, as shown in the following figure.

³ NI USB-6008/6009 devices are supported by NI-DAQmx 7.5 and later.

Figure 6. NI USB-6008/6009 Pinout

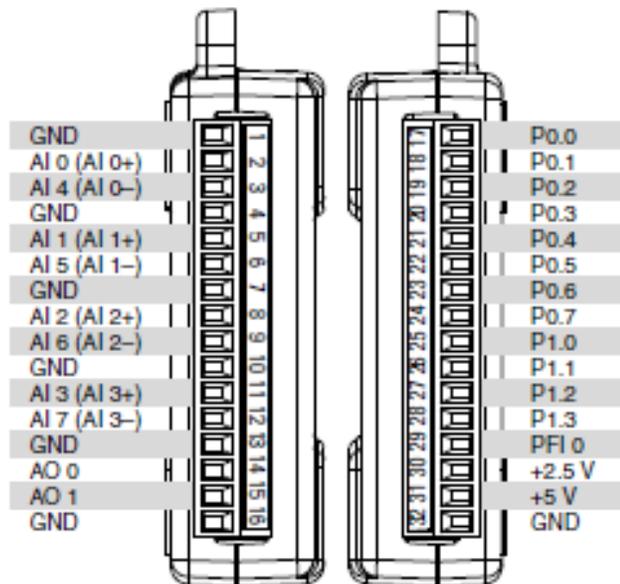


Table 5. Signal Descriptions

Signal Name	Reference	Direction	Description
GND	—	—	Ground —The reference point for the single-ended analog input measurements, analog output voltages, digital signals, +5 VDC supply, and +2.5 VDC at the I/O connector, and the bias current return point for differential mode measurements.
AI <0..7>	Varies	Input	Analog Input Channels 0 to 7 —For single-ended measurements, each signal is an analog input voltage channel. For differential measurements, AI 0 and AI 4 are the positive and negative inputs of differential analog input channel 0. The following signal pairs also form differential input channels: AI <1, 5>, AI <2, 6>, and AI <3, 7>. Refer to the <i>Analog Input</i> section for more information.

Table 5. Signal Descriptions (Continued)

Signal Name	Reference	Direction	Description
AO <0, 1>	GND	Output	Analog Output Channels 0 and 1 —Supplies the voltage output of AO channel 0 or AO channel 1. Refer to the <i>Analog Output</i> section for more information.
P0.<0..7>	GND	Input or Output	Port 0 Digital I/O Channels 0 to 7 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
P1.<0..3>	GND	Input or Output	Port 1 Digital I/O Channels 0 to 3 —You can individually configure each signal as an input or output. Refer to the <i>Digital I/O</i> section for more information.
PFI 0	GND	Input	PFI 0 —This pin is configurable as either a digital trigger or an event counter input. Refer to the <i>PFI 0</i> section for more information.
+2.5 V	GND	Output	+2.5 V External Reference —Provides a reference for wrap-back testing. Refer to the <i>+2.5 V External Reference</i> section for more information.
+5 V	GND	Output	+5 V Power Source —Provides +5 V power up to 200 mA. Refer to the <i>+5 V Power Source</i> section for more information.

Analog Input

The NI USB-6008/6009 has eight analog input channels that you can use for four differential analog input measurements or eight single-ended analog input measurements.

The following figure shows the analog input circuitry of the NI USB-6008/6009.

1.1 EL MICROMASTER 420

La serie MICROMASTER 420 es una gama de convertidores de frecuencia (variadores) para modificar la velocidad de motores trifásicos. La gama de modelos disponible abarca de entrada monofásica de 120 W a entrada trifásica de 11 kW.

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto les hace fiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor. Extensas funciones de protección ofrecen una protección excelente tanto del convertidor como del motor.

Con sus ajustes por defecto realizados en fábrica, el MICROMASTER 420 es ideal para una gran gama de aplicaciones de control de motores simples. El MICROMASTER 420 puede utilizarse también en aplicaciones de control de motores más avanzadas usando sus extensas listas de parámetros.

El MICROMASTER 420 puede utilizarse tanto para aplicaciones aislado como integrado en sistemas de automatización.

1.2 Características

Características principales

- Fácil de instalar, parametrizar y poner en servicio
- Tiempo de respuesta a señales de mando rápido y repetible
- Amplio número de parámetros que permiten configuraciones para cubrir una gran gama de aplicaciones
- Simple conexión de los cables
- Diseño modular para configuración extremadamente flexible
- Altas frecuencias de pulsación para funcionamiento silencioso del motor
- Opciones externas para comunicaciones por PC, panel BOP, panel AOP y tarjeta de comunicación Profibus

Características de prestaciones

- Flux Current Control (FCC) para respuesta dinámica y control de motor mejorados
- Fast Current Limitation (FCL) para funcionamiento con mecanismo exento de disparo
- Freno por inyección de corriente continua integrado
- Frenado combinado para mejorar el rendimiento del frenado
- Tiempos de aceleración/deceleración con redondeo de rampa programable
- Regulación usando función de lazo de regulación proporcional e integral (PI)

Características de protección

- Protección completa tanto para el motor como para el convertidor
- Protección de sobretensión/mínima tensión
- Protección de sobret temperatura para el convertidor
- Protección de defecto a tierra
- Protección de cortocircuito
- Protección térmica del motor por I^2t

7 Especificaciones del MICROMASTER 420

Tabla 7-1 Especificaciones del MICROMASTER 420

Convertidores MICROMASTER 230 V monofásicos (con filtro clase A incorporado)										
Referencia (S210420-240)	11-2AA0	12-8AA0	13-7AA0	15-5AA0	17-5AA0	21-1BA0	21-8BA0	22-2BA0	23-0CA0	
Margen de tensión de entrada	1AC 200V - 240V +10% -10%									
Potencia nominal del motor kW (hp)	0,12 (0,16)	0,25 (0,33)	0,37 (0,5)	0,55 (0,75)	0,75 (1)	1,1 (1,5)	1,5 (2)	2,2 (3)	3 (4)	
Potencia kVA	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,4	3,2	4,6	6	
Corriente de salida máx. A	0,9	1,7	2,3	3	3,9	5,5	7,4	10,4	13,6	
Corriente de entrada A	2	4	5,5	7,5	9,9	14,4	19,8	28,4	36,5	
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	1 (17)					2,5 (13)		4 (11)		6 (8)
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	2,5 (13)					6 (8)		10 (7)		
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	1 (17)									
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	2,5 (13)					6 (8)		10 (7)		
Dimensiones (anch x alt x prof) mm	73x173x149 (2,87x6,81x5,87)					149x202x172 (5,87x7,95x6,77)			185x246x95 (7,28x9,69x3,74)	
Peso kg (lb)	1,2 (2,6)			1,3 (2,9)		3,3 (7,3)		3,8 (7,3)		5,2 (11,4)

Convertidores MICROMASTER 230 V trifásicos (con filtro clase A incorporado)

Referencia (S210420-240)	23-0CA0	24-0CA0	25-0CA0
Margen de tensión de entrada	3AC 200V - 240V +10% -10%		
Potencia nominal del motor kW (hp)	3 (4)	4 (5)	5,5 (7,5)
Potencia kVA	6	7,7	9,6
Corriente de salida máx. A	13,6	17,5	22
Corriente de entrada A	15,6	19,7	26,3
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	2,5 (13)	2,5 (13)	4 (11)
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	10 (7)	10 (7)	10 (7)
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	1,5 (15)	2,5 (13)	4 (11)
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	10 (7)	10 (7)	10 (7)
Dimensiones (anch x alt x prof) mm	185x246x136 (7,28x9,69x5,35)		
Peso kg (lb)	5,2 (11,4)	5,7 (12,5)	5,7 (12,5)

Convertidores MICROMASTER 230 V monofásicos/trifásicos (sin filtro)

Referencia (S210420-240)	11-2AA0	12-8AA0	13-7AA0	15-5AA0	17-5AA0	21-1BA0	21-8BA0	22-2BA0	23-0CA0	
Margen de tensión de entrada	10AC 200V - 240V +10% -10%									
Potencia nominal del motor kW (hp)	0,12 (0,16)	0,25 (0,33)	0,37 (0,5)	0,55 (0,75)	0,75 (1)	1,1 (1,5)	1,5 (2)	2,2 (3)	3 (4)	
Potencia kVA	0,4	0,7	1	1,3	1,7	2,4	3,2	4,6	6	
Corriente de salida máx. A	0,9	1,7	2,3	3	3,9	5,5	7,4	10,4	13,6	
Corriente de entrada A	0,7 (2 1AC)	1,7 (4 1AC)	2,4 (5,5 1AC)	3,1 (7,5 1AC)	4,3 (9,9 1AC)	6,2 (14,4 1AC)	8,3 (19,8 1AC)	11,3 (26,4 1AC)	15,6 (36,5 1AC)	
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	1 (17)									
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	2,5 (13)					6 (8)		10 (7)		
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	1 (17)									
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	2,5 (13)					6 (8)		10 (7)		
Dimensiones (anch x alt x prof) mm	73x173x149 (2,87x6,81x5,87)					149x202x172 (5,87x7,95x6,77)			185x246x95 (7,28x9,69x3,74)	
Peso kg (lb)	1,2 (2,6)					2,9 (6,4)		2,9 (6,4)		3,1 (6,8)

Convertidores MICROMASTER 230 V trifásicos (sin filtro)

Referencia (S21640-3UC)	24-0CA0	25-0CA0
Margen de tensión de entrada	3AC 200V - 240V +10% -10%	
Potencia nominal del motor kW (hp)	4 (5)	5,5 (7,5)
Potencia kVA	7,7	9,6
Corriente de salida máx. A	17,5	22
Corriente de entrada A	18,7	25,3
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	2,5 (13)	4 (11)
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	10 (7)	10 (7)
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	2,5 (13)	4 (11)
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	10 (7)	10 (7)
Dimensiones (anch x alt x prof) mm (pulgadas)	186x245x125 (7,28x9,65x7,88)	186x245x125 (7,28x9,65x7,88)
Peso kg (lb)	5,5 (12,1)	5,5 (12,1)

Convertidores MICROMASTER 400 V trifásicos (con filtro clase A incorporado)

Referencia (S21640-3AC)	23-2BA0	23-0BA0	24-0BA0	25-0CA0	27-0CA0	31-1CA0
Margen de tensión de entrada	3AC 380V - 480V +10% -10%					
Potencia nominal del motor kW (hp)	2,2 (3)	3 (4)	4 (5)	5,5 (7,5)	7,5 (10)	11 (15)
Potencia kVA	4,5	5,9	7,8	10,1	14	19,8
Corriente de salida máx. A	5,9	7,7	10,2	13,2	18,4	26
Corriente de entrada A	7,5	10	12,8	17,3	23,1	33,8
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	1 (17)	1 (17)	1,5 (15)	2,5 (13)	4 (11)	6 (8)
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	6 (8)			10 (7)		
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	1 (17)			1,5 (15)	2,5 (13)	4 (11)
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	6 (8)			10 (7)		
Dimensiones (anch x alt x prof) mm (pulgadas)	146x232x172 (5,75x9,13x6,77)			186x245x125 (7,28x9,65x7,88)		
Peso kg (lb)	3,1 (6,8)	3,3 (7,3)	3,3 (7,3)	5,4 (11,9)	5,7 (12,5)	5,7 (12,5)

Convertidores MICROMASTER 400 V trifásicos (sin filtro)

Referencia (S21640-3UC)	13-TAA0	15-SAA0	17-SAA0	21-1AA0	21-SAA0	23-2BA0	23-0BA0	24-0BA0	25-0CA0	27-0CA0	31-1CA0
Margen de tensión de entrada	3AC 380V - 480V +10% -10%										
Potencia nominal del motor kW (hp)	0,37 (0,5)	0,55 (0,75)	0,75 (1)	1,1 (1,5)	1,5 (2)	2,2 (3)	3 (4)	4 (5)	5,5 (7,5)	7,5 (10)	11 (15)
Potencia kVA	0,9	1,2	1,6	2,3	3	4,5	5,9	7,8	10,1	14	19,8
Corriente de salida máx. A	1,2	1,6	2,1	3	4	5,9	7,7	10,2	13,2	18,4	26
Corriente de entrada A	1,6	2,1	2,8	4,2	5,8	7,5	10	12,8	17,3	23,1	33,8
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	1 (17)							1,5 (15)	2,5 (13)	4 (11)	6 (8)
Sección mín. cable de entrada, mm ² (awg)	2,5 (13)			6 (8)				10 (7)			
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	1 (17)					1,5 (15)			2,5 (13)	4 (11)	
Sección mín. cable de salida, mm ² (awg)	2,5 (13)			6 (8)				10 (7)			
Dimensiones (anch x alt x prof) mm (pulgadas)	73x173x149 (2,87x6,81x5,88)					146x232x172 (5,75x9,13x6,77)			186x245x125 (7,28x9,65x7,88)		
Peso kg (lb)	1,3 (2,8)					3,1 (6,8)	3,3 (7,3)	3,3 (7,3)	5,2 (11,4)	5,5 (12,1)	5,5 (12,1)

Notas

- Motor Siemens de 4 polos.
- El convertidor 3 kW 230 requiere una bobina externa (p. ej. 4EM6100-3CB) y un fusible de red 30 A para operar alimentado desde una red monofásica.

Tabla 7-2 Características del MICROMASTER

Característica	Especificación
Tensión de red en servicio	200 a 240 V ± 10% 1AC 200 a 240 V ± 10% 3AC 380 a 480 V ± 10% 3AC
Márgenes de potencia	200 a 240 V ± 10% 1AC0,12kW – 3,0 kW 200 a 240 V ± 10% 3AC0,12kW – 5,5 kW 380 a 480 V ± 10% 3AC0,37kW – 11,0 kW
Dimensiones (sin placa de prensaestopos)	FSA [anch'alt'prof] mm (pulgadas)
	F5B [anch'alt'prof] mm (pulgadas)
Grado de protección	IP20
Margen de temperatura	-10°C a +50°C
Temperatura almacenamiento	-40°C a +70°C
Humedad	95% humedad relativa; sin condensación
Altitud de operación	hasta 1000 m sobre el nivel del mar sin necesidad de reducción de potencia
Método de control	V/f lineal; V/f cuadrática; Flux Current Control (FCC)
Capacidad de sobrecarga	1,5 * corriente nominal de salida durante 60 s (cada 300 s)
Compatibilidad electromagnética	Filtros EMC opcionales según EN55011, clase A o B, también hay disponibles filtros clase A internos
Características de protección	Mínima tensión, sobretensión, defecto a tierra, cortocircuito, prevención de desenganche, rotor bloqueado, sobretemperatura en motor, sobretemperatura en convertidor
Frecuencia de entrada	47 a 63 Hz
Resolución de consigna	0,01Hz digital, 0,01 Hz serie, 10 bits analógica
Frecuencia de pulsación	2kHz a 16kHz (en pasos de 2kHz)
Entradas digitales	3 entradas programables aisladas, conmutables entre activa con high/activa con low (PNP/NPN)
Frecuencias fijas	7 programables
Frecuencias inhibibles	4 programables
Salidas de relé	1 programable 30V DC / 5A (carga resistiva), 250V AC 2A (carga resistiva)
Entrada analógica	1 (0/2 a 10V) usada para consigna o señal de realimentación regulador PI
Salida analógica	1 (0/4 a 20mA) programable
Interface serie	R8-232 y R8-485
Diseño/fabricación	de acuerdo a ISO 9001
Normas	UL, cUL, CE, C-tick
Marcado CE	de acuerdo con las directivas europeas "Baja tensión" 73/23/CEE y "Compatibilidad electromagnética" 89/336/CEE
Factor de potencia	>0,7
Rendimiento del convertidor	96 a 97 %
Corriente al conectar	inferior a la corriente nominal de entrada
Frenado	Frenado por inyección de c.c., frenado combinado