



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA
OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

PROYECTO TÉCNICO:

**CONTROL PID DIFUSO PARA UN SISTEMA
NEUTRALIZADOR DE PH EN AGUA ÁCIDAS**

AUTORES:

**MARÍA TERESA ASUNCIÓN PERALTA
EMELY STEPHANÍA OCHOA VÉLEZ**

TUTOR:

**MONICA MIRANDA, M. Sc.
GUAYAQUIL – ECUADOR**

2020-2021

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA

Nosotros, **María Teresa Asunción Peralta** y **Emely Stephania Ochoa Vélez**, con C.I 0928521723 y C.I 0953661006 respectivamente, estudiantes de la carrera de Ingeniería Electrónica de la **Universidad Politécnica Salesiana**, declaramos que el trabajo descrito aquí ha sido desarrollado respetando los derechos intelectuales de terceros cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Los análisis realizados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Ma. Teresa Asunción P.

María Teresa Asunción Peralta
Cédula: 0928521723

Emely Stephania Ochoa Vélez

Emely Stephania Ochoa Vélez
Cédula: 0953661006

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros **María Teresa Asunción Peralta** con identificación N ° 0928521723, **Emely Stephanía Ochoa Vélez** con identificación N ° 0953661006, manifestamos que los análisis desarrollados y los derechos patrimoniales del actual trabajo, quedan cedidos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**, en virtud que somos autores del proyecto de grado: **“Control PID difuso para un Sistema Neutralizador de PH en Aguas Ácidas”**, el cual fue desarrollado para la obtención del título de: Ingenieros Electrónicos, quedando facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En condiciones de autores nos reservamos los derechos morales del proyecto citado, en aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Ma. Teresa Asunción P.

María Teresa Asunción Peralta
Cédula: 0928521723



Emely Stephania Ochoa Vélez
Cédula: 0953661006

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación "**CONTROL PID DIFUSO PARA UN SISTEMA NEUTRALIZADOR DE PH EN AGUAS ÁCIDAS**" con resolución de aprobación de Consejo de Carrera realizado por los estudiantes **María Teresa Asunción Peralta**, con documento de identificación N ° 0928521723 y **Emely Stephanía Ochoa Vélez**, con documento de identificación N ° 0953661006, obteniendo un producto que cumple con los objetivos del diseño de aprobación, informe final y demás requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Guayaquil, 23 de marzo del 2021

A handwritten signature in blue ink, reading "Mónica Miranda", is written over a horizontal blue line.

Ing. Mónica Miranda M. Sc.

Docente

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada con todo mi amor y cariño a Dios ya que gracias a Él tengo vida y así he logrado concluir mi carrera.

A mis padres Simón Asunción y Verónica Peralta porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo emocional y económico.

A mis hermanos Emilio, Alejandro y Arnold Asunción por sus palabras emotivas.

A Jamil Salazar por estar a mi lado dándome su apoyo incondicional.

A mis demás familiares, amigos, compañeros de la universidad y todas aquellas personas que de una u otra manera han contribuido para el logro de mis objetivos.

María Teresa Asunción Peralta

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Walter Ochoa y Brenda Vélez por el apoyo incondicional, a mi hermano Steven Ochoa por acompañarme en cada momento, a mis amigos por estar presentes, compartir sus conocimientos y su tiempo a lo largo de esta etapa.

Emely Stephanía Ochoa Vélez

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme, por guiarme a lo largo de mi existencia, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas, siendo mi apoyo y mi fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

De manera especial a mis padres por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad, por haber sido mi apoyo durante todo este tiempo, por los consejos, valores y principios que me inculcaron desde pequeña, por confiar y creer en mis expectativas.

A mi compañera de tesis Emely Ochoa por ser el apoyo incondicional para cumplir esta meta.

A mi tutora de tesis Mónica Miranda, por haberme guiado y haberme brindado el apoyo y experiencia para culminar esta etapa.

A la Universidad Politécnica Salesiana, Directivos y Docentes por haberme brindado sus conocimientos.

María Teresa Asunción Peralta

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por este proyecto de titulación y por haberme otorgado una familia maravillosa que me brinda su apoyo incondicional, y me han enseñado valores para superarme, siempre con humildad y sacrificio.

Siempre estuvieron dispuestos a acompañarme en cada larga y agotadora noche de estudio, recordándome constantemente cual es la meta.

Finalmente quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi compañera de proyecto María Teresa por acompañarme y confiar en mi para realizar este proyecto de titulación.

Emely Stephanía Ochoa Vélez

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2020	María Teresa Asunción Peralta Emely Stephania Ochoa Vélez	Mónica Miranda, M. Sc.	Control PID difuso para un Sistema Neutralizador de PH en Aguas Ácidas.

El presente proyecto técnico conlleva a un mejoramiento en cuanto al tiempo de respuesta de la neutralización que permitirá ser exacta y eficaz debido a que contará con una bomba peristáltica que permite realizar una dosificación correcta para llegar al Set Point pH 7 minimizando los errores al implementar un PID difuso. Tomando en cuenta que se implementara una pantalla de control para poder tener una plataforma de control didáctica para los estudiantes.

El objetivo principal es elaborar un control PID difuso en el tanque reactor (TK03) donde ocurre el proceso de neutralización de pH, implementando la tecnología de la familia de National Instruments y Matlab a la par con el Industruino, sensores, transductores, actuadores, agitadores y bomba peristáltica presentando las señales de la planta en la pantalla de control.

El módulo está ubicado en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Carrera Ingeniería Electrónica campus Centenario en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales, los principales beneficiarios son los estudiantes de los últimos semestres de la Carrera de Ingeniería Electrónica en Automatización Industrial, permitiendo que los estudiantes conozcan y aprendan sobre este tipo de sistemas de regulación de PH de agua.

Palabras clave: Industruino, LabVIEW, PID Difuso.

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT	TECHNICAL PROJECT THEME
2020	María Asunción P. Emely Ochoa V.	Mónica Miranda, M. Sc.	Control Fuzzy PID for a PH Neutralizer System in Acid Water

This technical project leads to an improvement in the response time of the neutralization that will allow it to be accurate and efficient because it will have a peristaltic pump that allows a correct dosage to be made to reach the Set Point pH 7, minimizing errors when implementing a PID diffuse. Taking into account that a control screen will be implemented in order to have a didactic control platform for students.

The main objective is to develop a diffuse PID control in the reactor tank (TK03) where the pH neutralization process occurs, implementing the technology of the National Instruments and Matlab family together with the Industruino, sensors, transducers, actuators, agitators. and peristaltic pump displaying the plant signals on the control screen.

The module is located at the Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil, Electronic Engineering degree, Centenario campus in the Wastewater Treatment laboratory, the main beneficiaries are the students of the last semesters of the Electronic Engineering in Industrial Automation career, allowing students to know and learn about this type of water pH regulation systems.

Keywords: Arduino, LabVIEW, charging system, PID Fuzzy.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA.....	II
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	II
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE GENERAL.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVII
INTRODUCCIÓN.....	XVIII
1. EL PROBLEMA.....	19
1.1. Antecedentes.....	19
1.2. Importancia y Alcances.....	19
1.3. Delimitación.....	3
1.3.1. Temporal.....	3
1.3.2. Espacial.....	3
1.3.3. Académica.....	3
1.4. Innovación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	4
2.1. Industruino.....	4
2.2. Sensor de Potencial de Hidrógeno (pH).....	5
2.3. LabVIEW.....	5
2.4. Panel Frontal LabVIEW.....	6
2.5. Bloque de Diagrama.....	6
2.6. LabVIEW Firmware para Arduino (Lifa Base).....	7
2.7. Daq USB 6009.....	7
2.8. Matlab.....	8
2.9. Sensor de Nivel.....	8

2.10. Sensor de Temperatura PT100	9
2.11. Sensor Ultrasónico HC-SR04	9
2.12. Válvula Solenoide - Electroválvula.....	10
2.13. Agitador Tipo Turbina - Rushton	10
2.14. Bombas de Diafragma	11
2.15. Bomba Peristáltica.....	11
2.16. Mini PC Intel.....	12
2.17. TFT LCD (Pantalla de control).....	12
2.18. Controlador PID.....	13
2.19. Constante Proporcional (P).....	13
2.20. Constante Integral (I).....	14
2.21. Constante Derivativa (D)	15
2.22. Control Difuso.....	15
2.23. Sensor de Flujo	15
2.24. Tratamiento de Aguas Residuales.....	16
2.25. Neutralización de Aguas Residuales Alcalinas.....	17
2.26. Potencial de Hidrógeno (pH).....	17
2.27. Motor DC 12V	18
2.28. Soluciones Buffers.....	18
3. MARCO METODOLÓGICO	20
3.1. Descripción del módulo didáctico.....	20
3.3. Diseño de estructura.....	21
3.2. Etapas de Implementación del Control.....	26
3.3. Etapa de Software.....	26
3.4. Etapa de Adquisición de Datos.....	27
3.5. Etapa de Aplicación	28
3.6. Diagramas de Conexiones	28
3.6.1. Conexión con Bomba Peristáltica (0-5V)	28
3.6.2. Conexión con Sensor de Caudal.....	30
3.6.3. Conexión del sensor de pH1 y pH2	31
3.7. Implementación de Pantalla	32
3.8. Configuración de IP en pantalla o en el computador	35
3.9. Configuración en la Bomba Peristáltica.....	36
3.10. Calibración de Sensores de pH.....	39
3.11. Diagrama PI&D	41
3.12. Modelado matemático.....	42

3.13. Configuración y Programación del PID Difuso.....	54
4. PRACTICA.....	60
5. RESULTADOS.....	61
5.1. Resultados del PID Difuso.....	62
5.2. Resultados de la práctica.....	65
5.3. Análisis de los resultados.....	69
CONCLUSIONES.....	73
RECOMENDACIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	76
ANEXOS.....	78
Anexo 1 Planos en AutoCAD del Prototipo.....	78
Anexo 2 Manual Bomba Peristáltica.....	84
Anexo 3 Presupuesto.....	102
Anexo 4 Cronograma de Actividades.....	103
Anexo 5 Ensamblaje del Prototipo.....	104
Anexo 6 Programación Bomba Peristáltica (LabVIEW).....	108
Anexo 7 Simulación PID Difuso (LabVIEW).....	109
Anexo 8 Precauciones con la Base Alcalino.....	110
Anexo 9 Precauciones con el ácido.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Industruino (Cobo, 2015).....	5
Figura 2. Sensor de potencial de hidrógeno (pH) (Caballero, 2017).....	5
Figura 3. LabVIEW. (Ni, Labview, 2019).....	6
Figura 4. Panel Frontal.....	6
Figura 5. Diagrama de bloques	7
Figura 6. Lifa base (Ogata, 1970).	7
Figura 7. Daq USB 6009 (Ni, USB-6009, 2019)	8
Figura 8. MATLAB (Requez, 2017).....	8
Figura 9. Sensor de nivel (Omega, 2003).....	9
Figura 10. Sensor de temperatura PT100 (Srcsl, 2019).....	9
Figura 11. Winches Eléctricos (Naylampmechatronics, 2019).....	10
Figura 12. Válvula solenoide - electroválvula (maxelectronica, 2018).	10
Figura 13. Agitador tipo turbina (Intel, 2020)	11
Figura 14. Bombas de diafragma	11
Figura 15. Bomba peristáltica	12
Figura 16. Mini PC Intel.....	12
Figura 17. TFT LCD.....	13
Figura 18. Controlador PID. (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).....	13
Figura 19. Constante Proporcional (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).....	14
Figura 20. Constante Integral (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).....	14
Figura 21. Constante derivativa (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).....	15
Figura 22. Sensor de Flujo (TOSTATRONIC, 2019).....	16
Figura 23. Niveles de PH (WORDPRESS, 2003).....	17
Figura 24. Motor DC 12V (BANGGOOD, 2006)	18
Figura 25. Soluciones Buffers de pH 10, pH 7 y pH 4	19
Figura 26. Modulo didáctico antiguo.....	20
Figura 27. Diagrama de bloques del proceso actual.....	21
Figura 28. Diseño en AutoCAD del módulo.....	22
Figura 29. Antes de la limpieza.....	23

Figura 30. Después de la limpieza.....	23
Figura 31. Antes del diseño de mangueras.....	24
Figura 32. Después del diseño de mangueras.....	24
Figura 33. Etapas de la implementación.....	26
Figura 34. Etapa de Software.....	27
Figura 35. Etapa de Adquisición de Datos.....	27
Figura 36. Etapa de Aplicación.....	28
Figura 37. Conexión entre My DAQ y DB15(Bomba Peristáltica).....	29
Figura 38. Ubicación del DB15 macho.....	30
Figura 39. Conexión entre My DAQ y el sensor de Caudal (Bomba Peristáltica)....	30
Figura 40. Conexión entre el Sensor de pH1 Y el industruino.....	31
Figura 41. Conexión entre el Sensor de pH2 Y el industruino.....	32
Figura 42. Comunicación entre el Industruino y la pantalla.....	33
Figura 43. Instalación de pantalla.....	33
Figura 44. Instalación de disco duro 120GB.....	34
Figura 45. Instalación de Windows y LabVIEW 2019.....	34
Figura 46. Colocación de tablero en la estructura.....	35
Figura 47. Pasos para configurar IP- parte 1.....	36
Figura 48. Pasos para configurar IP- parte 2.....	36
Figura 49. Configuración en (H-07 Y H-11) para control externo.....	37
Figura 50. Visualización de control de la bomba peristáltica (Panel Frontal- LabVIEW).....	38
Figura 51. Programación para control de la bomba peristáltica (Diagrama de bloques-LabVIEW).....	39
Figura 52. Calibración de sensores pH1 Y pH2.....	40
Figura 53. Buffers para pruebas.....	41
Figura 54. Diagrama PI&D del sistema Neutralizador del pH.....	41
Figura 55. Gráfica de PH/RPM vs Tiempo.....	43
Figura 56. Adquisición de datos al Workspace.....	43
Figura 57. Import Data.....	44
Figura 58. Modelando (polos y ceros).....	45
Figura 59. Transfer Function Identification (estimación de datos).....	45
Figura 60. Estimación de la función de transferencia con 7 polos y 3 ceros.....	46
Figura 61. Diagrama de bloques para la respuesta tipo paso.....	46
Figura 62. Flujo vs. Rpm de la bomba peristáltica (50 rpm).....	47

Figura 63. Trancisión de Ph vs tiempo de la bomba peristáltica con control on/off.	47
Figura 64. Datos muestreados del control on/off en el toolkit de matlab.	48
Figura 65. Identificación de la Función de transferencia “ tf1 ”, con afinidad del 90.77 %.	49
Figura 66. Función de transferencia “ tf1 ” visualizada en Command Window de Matlab	49
Figura 67. Diagrama en lazo cerrado de la Función de transferencia “ tf1 ”	49
Figura 68. Diagrama de lazo cerrado control PID de “ tf1 ”	50
Figura 69. Respuesta del controlador PID	50
Figura 70. Respuesta del controlador en lazo cerrado, sin control PID (color azul), con control PID (color amarillo), entrada tipo paso(color rojo), referente a “ tf1 ”	51
Figura 71. Identificación de la Función de transferencia “ tf2 ”, con afinidad del 94.27 %.	51
Figura 72. Función de transferencia “ tf2 ” visualizada en Command Window de Matlab.	52
Figura 73. Diagrama en lazo cerrado de la Función de transferencia “ tf2 ”.	52
Figura 74. Diagrama de lazo cerrado control PID de “ tf2 ”	52
Figura 75. Respuesta del controlador PID (verificar foto de valores PID)	53
Figura 76. Respuesta del controlador en lazo cerrado, sin control PID (color azul), con control PID (color amarillo), entrada tipo paso(color rojo)	53
Figura 77. Constantes k_p , k_i y k_d del PID tradicional.	54
Figura 78. Señal de salida del controlador PID	54
Figura 79. Constantes k_p , k_i y k_d del PID Difuso	55
Figura 80. Señal de salida del controlador PID difuso (Ph)	55
Figura 81. Comparación del esfuerzo entre el PID (color azul) y el PID difuso (color rojo)	55
Figura 82. Diagrama del PID difuso	56
Figura 83. Reglas de pertenencia entrada uno (error) y salida de control (%rpm) del sistema difuso	57
Figura 84. Reglas de pertenencia entrada dos (derror) y salida de control (%rpm) del sistema difuso	57
Figura 85. Ingreso de las reglas del sistema difuso	58
Figura 86. Visualización de la relación entradas vs salida.	58
Figura 87. Interfaz de la practica 6.	61
Figura 88. Evolución pH 5 del tanque TK03 Vs. SetPoint.	63

Figura 89. Evolución pH 7 del tanque TK03 Vs. SetPoint.....	64
Figura 90. Adquisición de datos del PID Difuso.....	65
Figura 91. Establecer Conexión.	66
Figura 92. Seleccionamos la práctica 6.	66
Figura 93. Escoger nivel de acidez.	66
Figura 94. Bomba 1 encendida.	67
Figura 95. Dosificación de alcalino en el TK03.....	68
Figura 96. Activación de la bomba 4 para trasladar el agua neutra en el tanque reservorio TK01.....	68
Figura 97. Demostración de las prácticas mediante Zoom.....	69
Figura 98. Se evaluó la integración de un control PID Difuso para el aprendizaje a los estudiantes.	71
Figura 99. Se evaluó la repotenciación de la planta neutralizador de pH.	71
Figura 100. Se evaluó como consideran la practica mostrada los estudiantes.....	72
Figura 101. Se evaluó la complejidad de la práctica implementando el PID Difuso a los estudiantes.	72
Figura 102. Se evaluó como implementar un PID Difuso.	73
FIGURA 103. Vista frontal del módulo (acotado)	78
FIGURA 104. Tablero y Pantalla (Acotado)	79
FIGURA 105. Diseño de Tuberías (Acotado).....	79
FIGURA 106. Vista frontal del módulo	80
FIGURA 107. Vista Lateral izquierda del módulo.....	81
Figura 108. Vista trasera del módulo.....	82
Figura 109. Porta Químico (Acotado).....	83
Figura 110. Vista Superior del módulo	83
Figura 111. Atornillando accesorios en el tablero de control.....	104
Figura 112. Posicionamiento y organización de componentes del tablero de control y de sus cables.....	105
Figura 113. Conexiones de la pantalla.....	106
Figura 114. Conexión en red entre el industruino y la pantalla.	106
Figura 115. Visión frontal del Módulo de prácticas.	107
Figura 116. Interfaz controlador PID Difuso.	108
Figura 117. Programación en LabVIEW controlador PID Difuso.	108
Figura 122. Simulación controlador PID y PID Difuso (Interfaz gráfica).....	109

Figura 123. Programación de la simulación controlador PID y PID Difuso en LabVIEW	109
--	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Lista de componentes y elementos que se utilizaron en el proyecto.	25
Tabla 2. Conexión entre My DAQ y DB15(Bomba Peristáltica).....	29
Tabla 3. Conexión entre My DAQ y Sensor de Caudal.....	31
Tabla 4. Conexión entre el Sensor de pH1 Y el industruino	31
Tabla 5. Conexión entre el Sensor de pH2 Y el industruino	32
Tabla 6. Guía de configuración de la Bomba peristáltica	38
Tabla 7. Valores que se obtuvo del sensor de pH1	39
Tabla 8. Valores que se obtuvo del sensor de pH2.....	40
Tabla 9. Números de Reglas.....	59
Tabla 10. Valores que se obtuvo de la evolución de pH 5 en el tanque TK03.	63
Tabla 11. Valores que se obtuvo de la evolución de pH 7 en el tanque TK03.....	64
Tabla 12. Encuesta	70
Tabla 13. Presupuesto.....	102
Tabla 14. Cronograma.....	103

INTRODUCCIÓN

En las industrias se utilizan tratamientos de aguas residuales con un sistema de medición para poder obtener y llevar un control de la cantidad de reactivo en un tanque o piscina, así como también llevan un registro de medición con el fin de mejorar el control de dosificación y obtener mayor exactitud.

Sitios como industrias, hospitales, metalúrgicas son lugares en los que ameritan el uso de control neutralizador de pH según el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) para mejorar la prevención y control de la Contaminación Ambiental, por lo regular, los sistemas más utilizados se basan en tratamiento de aguas residuales, regulación de acidez y control de activación de bacterias.

Para la dosificación o distribución de los reactivos se utilizó una bomba peristáltica cuya principal característica consiste en presionar una manguera flexible por un número determinado de rodillos que imprimen alta presión en el fluido sea este de alta o baja viscosidad brindando fiabilidad en su funcionamiento.

El objetivo del Trabajo de Titulación es ofrecer medios prácticos de los controladores PID mediante pruebas que abarcan varios procesos como: calibración del sensor de pH, rango de operación de pH, tiempo de homogenización con / sin agitador, comparación de sistema por batch o continuo y sistema completo de neutralización de pH.

1. EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

En la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Campus Centenario Carrera Ingeniería Electrónica se encuentra este módulo didáctico que permite experimentar la parte teórica impartida en las asignaturas Sensores y Transductores, Teoría de Control e Instrumentación Industrial entre otras donde los estudiantes pueden observar el funcionamiento de los elementos y el proceso de neutralización de pH del agua de una planta de tratamiento.

Este reacondicionamiento se implementa debido a que los tanques que contiene este proyecto tienen distinto control. El tanque que contiene el ácido y la base, cada una para su dosificación lo hace a través de electroválvulas la misma que no permite un control exacto, debido a que en la actualidad el control implementado es un control proporcional. Por esta razón se va a reemplazar la electroválvula del tanque de base por una bomba peristáltica controlada de 0 a 5 V.

Dada la problemática, este proyecto tiene la finalidad de dar al estudiante la capacidad de familiarizar el proceso utilizado en esta planta con lo que generalmente se usa en las industrias, así puedan aclarar dudas sobre el uso del control PID difuso y sea capaz de reconocer las variables implementadas en esta planta.

1.2. Importancia y Alcances

Ofrecer al estudiante un medio didáctico para que puedan implementar lo aprendido en el medio industrial, y por medio de las prácticas puedan observar el funcionamiento de cada uno de los elementos utilizados en el módulo, sobre todo el control PID difuso que se ha utilizado para poder realizar el proceso de la planta.

Este módulo permite realizar semejanzas, la teoría con la práctica de los controladores de PID difuso implementando software como LabVIEW y Matlab que permitieron llevar a cabo este proyecto, realizando una práctica completa

que permite adquirir todos los datos que requerimos. Por medio de este trabajo se podrá conocer más del tema y de los medios que se utilizan para llevar a cabo este proceso propuesto.

1.3. Delimitación

1.3.1. Temporal

El proyecto técnico efectuado tuvo una duración de 15 meses a partir de la fecha de aprobación de este.

1.3.2. Espacial

El módulo del presente proyecto es exclusivamente para el uso de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Carrera Ingeniería Electrónica campus Centenario en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales.

1.3.3. Académica

El proyecto radica en una ardua investigación y repotenciación del módulo didáctico que se encuentra en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil Carrera Ingeniería Electrónica campus Centenario en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales. Además, se implementó el control PID difuso para la neutralización de la sustancia ácida a $\text{pH}=7$ con la instalación de una bomba peristáltica para el bombeo de la base.

1.4. Innovación

Se realizará un control PID difuso para el proceso de tratamiento de aguas residuales, implementando una pantalla para el monitoreo de las señales de la planta para que su operación sea más didáctica al momento de hacer las prácticas, adicionalmente se pretende motivar a los estudiantes a implementar este tipo de sistemas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

- Implementar un control PID difuso para la planta de neutralización de pH ubicado en el Laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales del Bloque C de la Universidad Politécnica Salesiana.

1.5.2. Objetivos específicos

- Reacondicionar la planta a través de la instalación de una bomba peristáltica para el bombeo de la Base.
- Obtener la Función de Transferencia de la planta a través de la herramienta Ident de Matlab.
- Implementar el Control PID difuso para la neutralización de la sustancia ácida a pH=7
- Implementar y calibrar sensores de pH, temperatura y nivel.
- Monitorear las señales de la planta de neutralización.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Industruino

Industruino es una placa compatible con Arduino, tiene una pantalla gráfica integrada y botones para que el usuario puede interactuar e ingresar datos. Se puede utilizar para realizar proyectos de automatización como si se estuviera trabajando con una placa Arduino como se muestra en la figura 1. (Cobo, 2015).

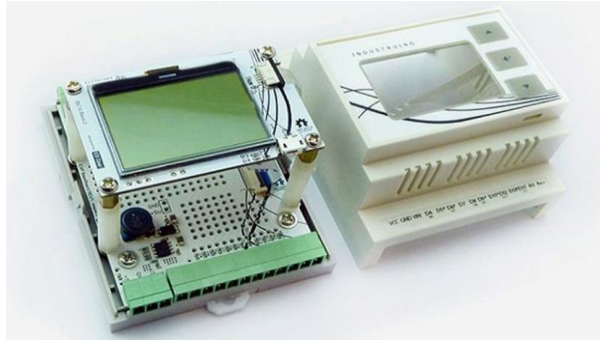


Figura 1. Industruino (Cobo, 2015).

2.2. Sensor de Potencial de Hidrógeno (pH)

El sensor pH es una de las herramientas más esenciales que se utiliza para medir alcalinidad, acidez y otras soluciones en el agua que contiene un electrodo de vidrio y un módulo V1.1 como se muestra en la figura 2 . Por lo general la escala de pH estándar varía de 0 a 14, cuando es un valor superior a siete representa alcalinidad y cuando es inferior a siete indica acidez (Cavallero, 2017).



Figura 2. Sensor de potencial de hidrógeno (pH) (Caballero, 2017).

2.3. LabVIEW

LabVIEW de National Instruments es una plataforma de diseño especializado en informática industrial y científica. Es un sistema interactivo de desarrollo y ejecución de programas diseñado para estudiantes, científicos e ingenieros. Su interfaz gráfica es versátil para programar y realizar simulaciones de ideas o incluso para presentar conceptos básicos de programación (Jolly, 2016).



Figura 3. LabVIEW. (Ni, Labview, 2019)

2.4. Panel Frontal LabVIEW

El panel frontal permite controlar o diseñar mediante un menú de controles e indicadores que funcionan como entradas y salidas del algoritmo del diagrama de bloques, que son terminales que sirven para interactuar con el creador (Lajara Vizcaíno & Pelegrí Sebastián, 2011).

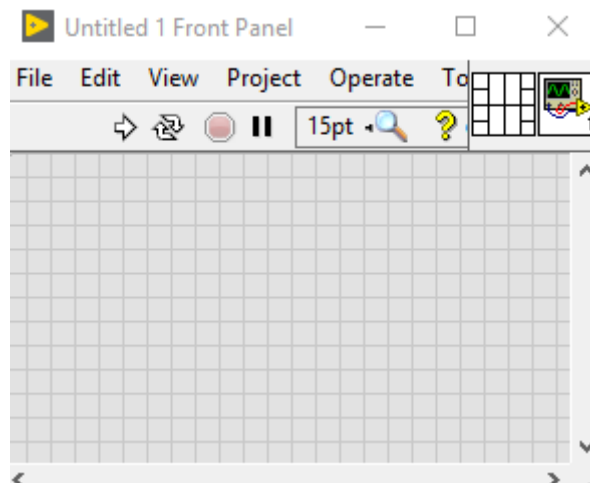


Figura 4. Panel Frontal

2.5. Bloque de Diagrama

En el bloque de diagrama se diseña la programación que está enlazada a través de los terminales (entradas o salidas que realizan operaciones cuando se ejecuta un VI) que funciona cuando recibe todas las entradas necesarias y el movimiento de datos a través de los nodos determina el orden de ejecución de los VI como se muestra en la Figura 5 (Lajara Vizcaíno & Pelegrí Sebastián, 2011).

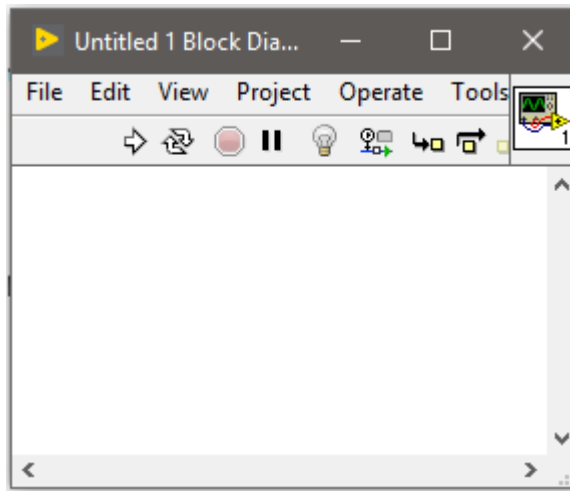


Figura 5. Diagrama de bloques

2.6. LabVIEW Firmware para Arduino (Lifa Base)

Lifa es un complemento que se debe instalar a LabVIEW para poder enlazar con Arduino que permite recibir datos digitales, analógicos y protocolos de comunicación que tiene la tarjeta, es recomendable trabajar con una versión específica de nuestro IDE de Arduino (Ogata, 1970).



Figura 6. Lifa base (Ogata, 1970).

2.7. Daq USB 6009

Tarjeta de adquisición multifunción con interfaz USB con 8 entradas analógicas, 2 salidas analógicas y un contador. Ofrece funcionalidad básica para aplicaciones como registro de datos simple, medidas portátiles y experimentos académicos de laboratorio, puede conectar fácilmente sensores o del transductor mediante sus terminales de tornillo (Ni, USB-6009, 2019) .



Figura 7. Daq USB 6009 (Ni, USB-6009, 2019)

2.8. Matlab

Programa que permite ejecutar una gran variedad de operaciones y tareas matemáticas, puede manejar los cálculos involucrados en problemas de ingeniería avanzada, como lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos entre muchos otros. Permite diseñar programas y aplicaciones que pueden ejecutarse desde cualquier computador o dispositivo (Requez, 2017).

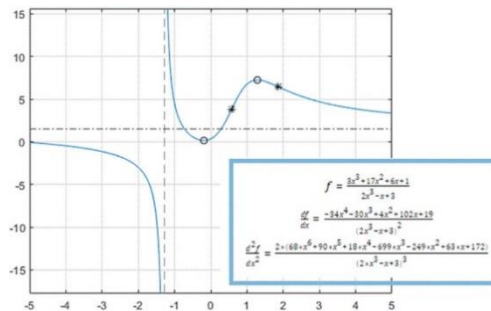


Figura 8. MATLAB (Requez, 2017)

2.9. Sensor de Nivel

El Sensor de nivel es un dispositivo electrónico que mide la altura del material, generalmente líquido, dentro de un tanque u otro recipiente por lo general se puede implementar en proyectos relacionados con fluidos.

En la figura 9 muestra el nivel de todo un sistema midiendo el fluido, produciendo una salida analógica que se correlaciona directamente con el nivel en el recipiente. (Omega, 2003).

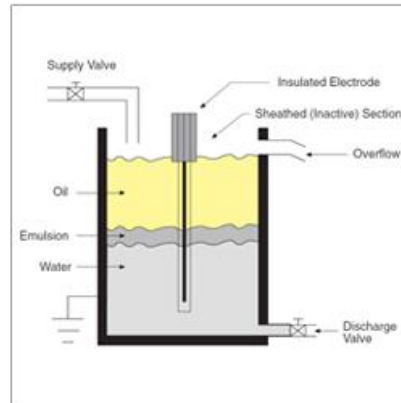


Figura 9. Sensor de nivel (Omega, 2003)

2.10. Sensor de Temperatura PT100

La PT100 ofrece una excelente precisión en un amplio rango de temperatura de 0 °C con 100 Ohms y que al subir la temperatura aumenta su resistencia eléctrica. A diferencia de los termopares, no es necesario utilizar cables especiales para conectarse al sensor (Srcsl, 2019).



Figura 10. Sensor de temperatura PT100 (Srcsl, 2019)

2.11. Sensor Ultrasónico HC-SR04

El sensor HC-SR04 determina la distancia de un objeto, ofrece precisión de rango y lecturas estables, aunque su funcionamiento puede ser afectado por

la luz solar o algún material negro. Su costo es bajo y destaca por su pequeño tamaño, bajo consumo y buena precisión (Naylampmechatronics, 2019).

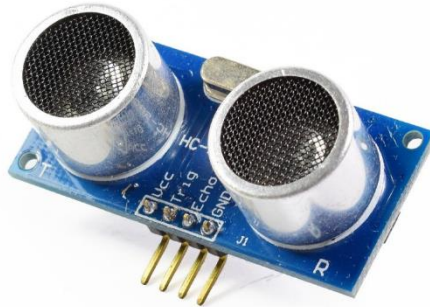


Figura 11. Winches Eléctricos (Naylampmechatronics, 2019).

2.12. Válvula Solenoide - Electroválvula

Se utiliza para controlar el flujo de agua mediante la activación o desactivación de un electroimán interno. Normalmente, la válvula está cerrada pero cuando se envía energía se crea un campo magnético que empuja del embolo, desplazando la válvula permitiendo que el agua puede pasar (maxelectronica, 2018).



Figura 12. Válvula solenoide - electroválvula (maxelectronica, 2018).

2.13. Agitador Tipo Turbina - Rushton

La turbina Rushton se utiliza debido a su extenso efecto centrífugo para la dispersión de líquido según su densidad o viscosidad. Los impulsores tienen

seis palas verticales espaciadas alrededor de un disco que se instala en el fondo del tanque (Smith, 2003).



Figura 13. Agitador tipo turbina (Intel, 2020)

2.14. Bombas de Diafragma

La bomba de diafragma cuenta con un interruptor de presión interno, produciendo presiones de 70 a 100 psi que trabajan a través de la deformación de una membrana que produce variaciones de flujo, por lo general son utilizadas en aplicaciones de bombeo. (Debem, 2019)



Figura 14. Bombas de diafragma

2.15. Bomba Peristáltica

La bomba peristáltica 253yx ofrece una acción de bombeo suave para el tratamiento de agua, tiene una manguera que está en contacto con el fluido, eliminando el riesgo que la bomba contamine el fluido o que el fluido contamine la bomba. Al momento que el líquido entra en un tubo de la bomba queda atrapado por el rodillo del cabezal de la bomba y es expulsado cuando el siguiente rodillo pasa sobre el tubo. El caudal de la bomba es proporcional a la velocidad, lo que hace adecuada para la dosificación (Debem, 2019).



Figura 15. Bomba peristáltica

2.16. PC Intel

La PC nos permite ejecutar el sistema operativo y las aplicaciones, recibiendo constantemente información del usuario. Procesa los datos y produce resultados, que pueden ser almacenados por una aplicación o mostrados en la pantalla (Intel, 2020).



Figura 16. Mini PC Intel

2.17. TFT LCD (Pantalla de control)

Pantalla de cristal líquida con una excelente calidad de imagen y brillante que muestra movimientos de manera fluida. El LCD es un dispositivo de salida que permite que el usuario pueda visualizar el estado del proceso (Lee, 2020)



Figura 17. TFT LCD

2.18. Controlador PID

El control PID (proporcional integral derivativo), ofrece al sistema una mayor estabilidad en un control de lazo cerrado el cual contiene una entrada y una salida con su respectiva etapa de procesamiento conteniendo la fórmula matemática donde el error de predicción $e(t)$ viene dado por la diferencia entre una señal de referencia deseada $r(t)$ y el estado real es $h(t)$. Posee tres elementos, uno proporcional al error (término P), que se integra el error con el tiempo (término I) y con diferencia con el tiempo (termino D) véase en Figura 18, la cual ayuda a que la desviación o error se encuentre en un valor óptimo para el sistema a controlar (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

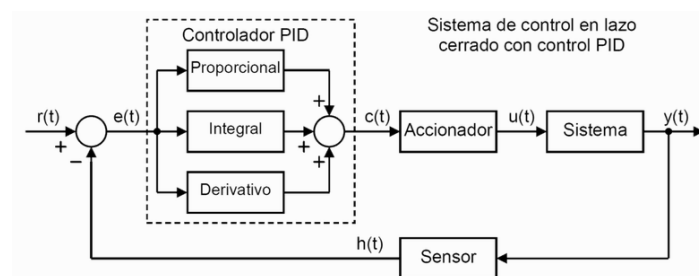


Figura 18. Controlador PID. (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

2.19. Constante Proporcional (P)

La constante proporcional es el producto entre de la ganancia y el error medido por lo tanto una mayor ganancia genera una salida del factor proporcional produciendo inestabilidad ya que posee un desempeño limitado y error en estado estacionario véase en la figura 19. (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

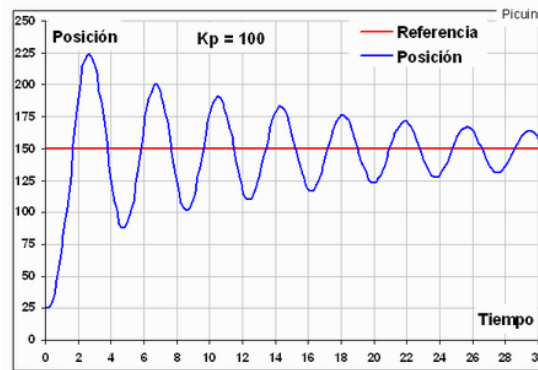


Figura 19. Constante Proporcional (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020)

2.20. Constante Integral (I)

La constante integral es una función acumulativa en el tiempo que reduce el error $e(t)$ en estado estacionario generado por perturbaciones exteriores, integrando la derivación en el tiempo que ocurre entre la variable y el punto de referencia aumentando la inestabilidad del sistema véase en figura 20. (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

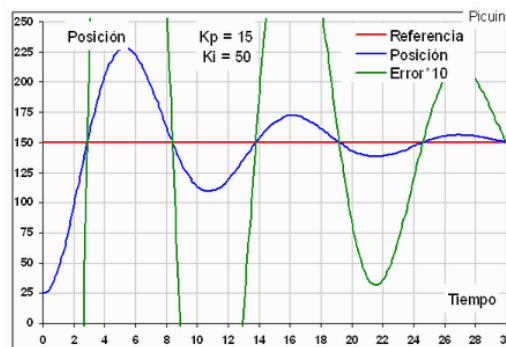


Figura 20. Constante Integral (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

2.21. Constante Derivativa (D)

La constante derivativa disminuye la velocidad del sistema para mantener el error de estado estacionario al mínimo corrigiéndole periódicamente que se genera en el cambio en un valor absoluto permitiendo la estabilidad del sistema controlado véase en Figura 21. (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

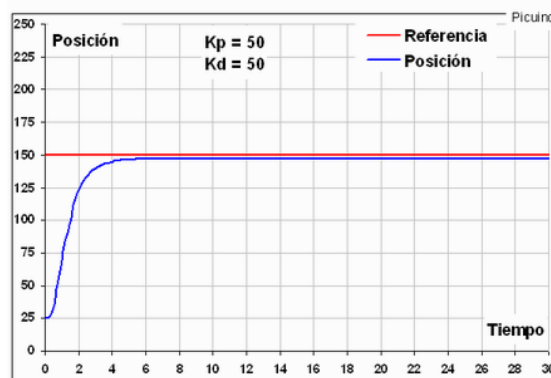


Figura 21. Constante derivativa (Pardo, Controlador PID - Control Automático - Picuino, 2020).

2.22. Control Difuso

El control difuso es una forma sencilla de llegar a una conclusión específica y definitiva basada en información de entrada ruidosa o faltante que intenta imitar el proceso de pensamiento humano usando reglas en plantas que sean lo suficiente representativas (Ramalho, 1996).

2.23. Sensor de Flujo

Un sensor de flujo, también llamado "detector de flujo" o "interruptor de flujo", es un dispositivo que se utiliza para monitorear el fluido en una tubería y trabajar con un pistón electromagnético que indica un aumento o disminución en el flujo de líquido, activando así el interruptor de láminas de contacto. El pistón está controlado por un resorte, e incluso cuando hay presión en la

tubería, el pistón volverá a la posición inicial cuando no haya líquido. (EICOS, 2020)

Este sensor de flujo de agua consta de una válvula de plástico, un rotor de agua y un sensor de efecto Hall. Cuando el agua fluye a través del rodillo del rotor, el rotor gira. Su velocidad cambia con los cambios de flujo. El sensor de efecto Hall emite la señal de pulso correspondiente. (TOSTATRONIC, 2019)



Figura 22. Sensor de Flujo (TOSTATRONIC, 2019)

2.24. Tratamiento de Aguas Ácidas

Las plantas de tratamiento de aguas ácidas modernas deben utilizar una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos para cumplir con las pautas de tratamiento de efluentes. Durante el curso del tratamiento, estas plantas consumen una variedad de productos químicos diferentes. En algunas plantas de tratamiento realizan la neutralización del pH del agua tomando como referencia el pH medido por el sensor por lo general este proceso es realizado en cisternas. Este proceso proporciona la alcalinidad necesaria para mantener una actividad biológica eficaz y para el control del pH (Ramalho, 1996).

2.25. Neutralización de Aguas Ácidas Alcalinas

La alcalinidad es la suma de todas las bases neutralizantes de ácido en el agua. Por lo general este tipo de tratamientos se realizan en aguas residuales municipales e industriales cuando tienen muchos factores que contribuyen a la alcalinidad. Los factores que contribuyen a la alcalinidad incluyen el tipo de compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos presentes en el agua cuando está tamponada fuerte o débilmente, la presencia o ausencia de alcalinidad de hidroxilo libre, la cantidad de bicarbonato en el agua, la proporción de bicarbonato a CO₂ disuelto y se correlaciona indirectamente con la cantidad de sólidos disueltos en el agua (Ramalho, 1996).

2.26. Potencial de Hidrógeno (pH)

El pH es la concentración del ion hidrógeno, que normalmente oscila en números entre 0 y 14. Una solución con un pH inferior a 7 se considera ácida; una solución con un pH superior a 7 se considera básica o alcalina. Tomando en cuenta que el agua es neutra es decir no es ácida ni alcalina. (Ramalho, 1996)

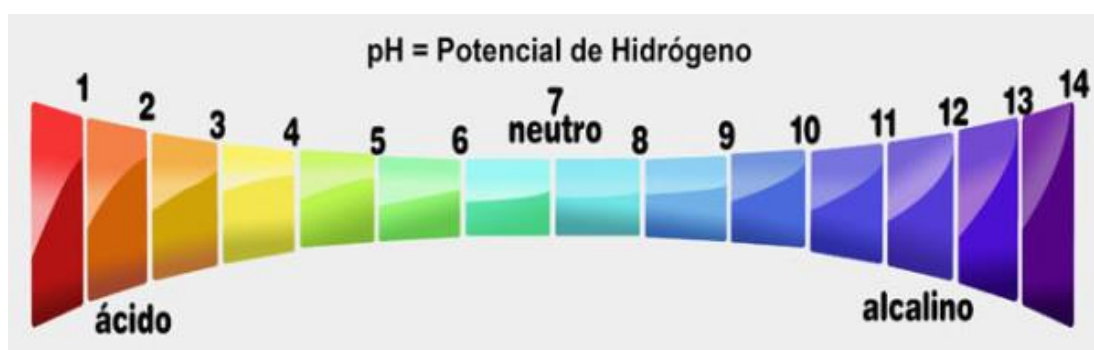


Figura 23. Niveles de PH (WORDPRESS, 2003)

2.27. Motor DC 12V

Un motor de corriente continua (motor de DC) es una máquina que convierte la energía eléctrica en energía mecánica y provoca un movimiento de rotación. En algunas modificaciones, ejercen tracción en la pista. Estos motores se denominan motores lineales.

Un motor de DC se compone principalmente de 2 partes, un estator que proporciona soporte mecánico al dispositivo y un orificio en el centro que suele ser cilíndrico. También hay polos en el estator, que pueden ser imanes permanentes o bobinados con cables de cobre en el núcleo de hierro. El rotor es generalmente cilíndrico, también está enrollado y tiene un núcleo al que pasa la corriente a través de dos escobillas. (geekbotelectronics, 2020)



Figura 24. Motor DC 12V (BANGGOOD, 2006)

2.28. Soluciones Buffers

Una solución Buffer o Amortiguadora es una solución capaz de mantener constante el pH agregando una pequeña cantidad de ácido o base.

Están formados por una mezcla de ácidos débiles y algunas de sus bases conjugadas (Buffers ácidos) o bases débiles y algunos de sus ácidos conjugados (Buffers básicos).

Añadiendo una pequeña cantidad de ácido o base fuertes, se neutralizarán hasta que se consuman la base débil o el ácido débil respectivamente, manteniendo estable el pH. Estas soluciones son muy útiles porque pueden evitar reacciones adversas que ocurren cuando cambia la acidez de la solución, también son cruciales en bioquímica, porque la función correcta a nivel celular depende de la constancia del pH en el organismo. También son importantes en la industria y los laboratorios. (QUIMICAS.NET, 2006)



Figura 25. Soluciones Buffers de pH 10, pH 7 y pH 4

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del módulo didáctico

En el desarrollo del presente proyecto denominado como “Diseño e implementación de un sistema neutralizador del pH del agua basado en Industruino para la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil Carrera Ingeniería Electrónica con mención en Sistemas Industriales” el cual se muestra en la figura 26, se diseñó un control PID Difuso en el tanque reactor (TK03) y un sistema de monitoreo a través de un computador conectado con una tarjeta de adquisición de datos NI DAQ 6008, mediante la conexión un cable de red al módulo Industruino para el manejo de los actuadores (bombas de agua) y adquisición de los valores de pH, nivel y temperatura del proceso, como se muestra en el diagrama de la figura 27.



Figura 26. Modulo didáctico antiguo

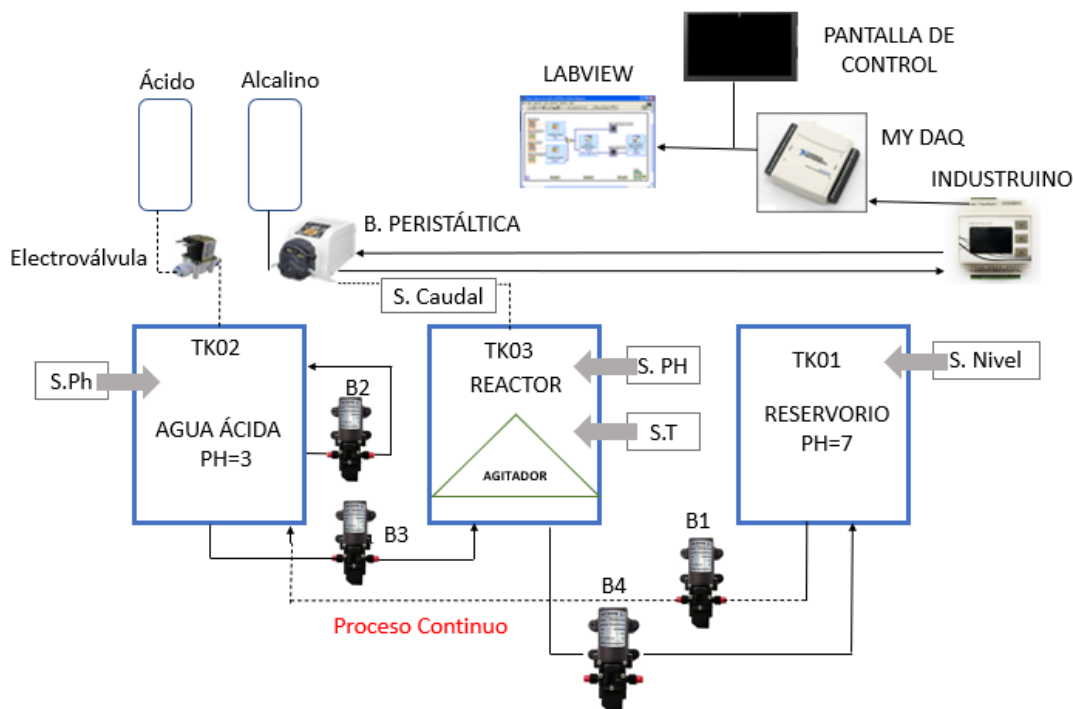


Figura 27. Diagrama de bloques del proceso actual

3.3. Diseño de estructura

El diseño de la estructura en AutoCAD se muestra en la figura 28, se realizaron varias modificaciones en la sección de bombas para realizar una correcta instalación de la bomba peristáltica utilizando un soporte de acrílico que mide 30x30 cm, para la pantalla se adiciono un tablero de 30x25 cm en la parte de arriba del módulo el cual dentro del tablero se realizó la instalación de la pantalla Mini CPU Intel , el My DAQ y un tomacorriente para su alimentación de voltaje, para las botellas de químicos se colocó un porta químico al lado izquierdo del módulo, en cuanto a las mangueras que estaban pegadas con silicona se retiraron por motivo de limpieza, se muestra el antes y el después de la limpieza en la figura 29 y 30 ya que contenía oxido. Luego se procede a realizar un nuevo diseño en el área de las mangueras como se muestra en la figura 31 y 32 con una plancha de acrílico 30x40 cm, mangueras, uniones, tuberías de PVC de ½” y demás materiales utilizaron que se muestran en la Tabla 1.

También se cambiaron varios elementos porque estaban en mal estado como por ejemplo la válvula solenoide, los sensores de pH, el ácido, el base alcalino, las botellas de los químicos, bomba de diafragma y otros elementos que no se hallaron en el módulo como la fuente de 12v 30 AMP, el motor DC de 12v del mezclador. En el ANEXO 1 están los planos en AutoCAD con las respectivas medidas.



Figura 28. Diseño en AutoCAD del módulo.



Figura 29. Antes de la limpieza.



Figura 30. Después de la limpieza.



Figura 31. Antes del diseño de mangueras.

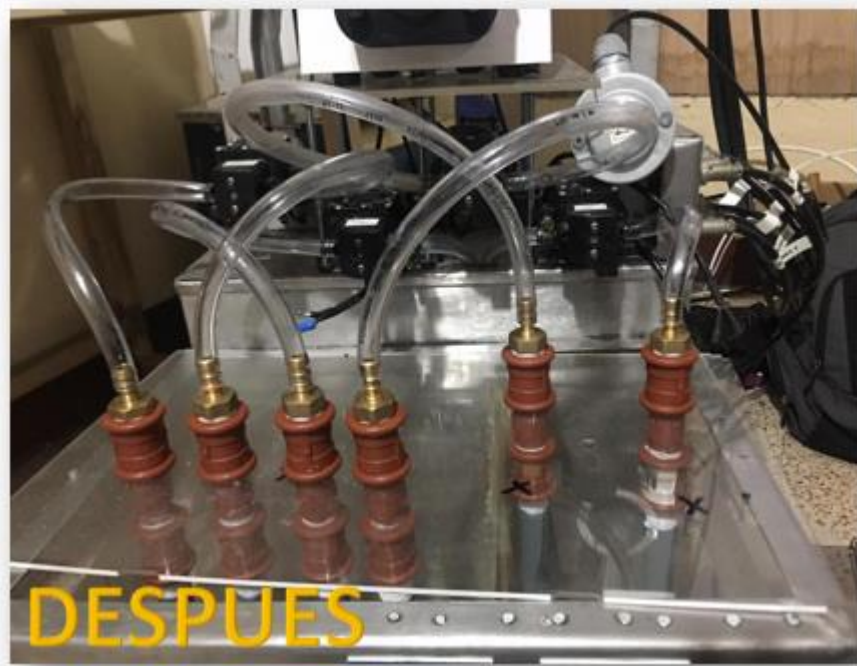


Figura 32. Después del diseño de mangueras.

MOTIVO	ITEM	DESCRIPCIÓN MATERIALES	CANT.
IMPLEMENTACIÓN	1	BOMBA PERISTÁLTICA DE 4 A 20 MAMP	1
	2	TARJETA DE ADQUISIÓN	1
	3	MINI CPU	1
	4	DISCO DURO	1
	5	TARJETA DE MEMORIA	1
	6	CABLE DE RED	1
	7	CABLE INDUSTRIAL	2
	8	PANTALLA	1
	9	TOMACORRIENTE	1
ESTRUCTURA	10	PORTAQUÍMICO	1
	11	TABLERO PARA PANTALLA	1
	12	ACRÍLICO PARA BOMBA	1
	13	MANGUERA 3/8	6
	14	MANGUERA ¼	2
	15	TUBO PVC DE ½	2
	16	UNIÓN HEMBRA DE ½	6
	17	UNIÓN MACHO DE ½	6
	18	ABRAZADERA DE 3/8	12
	19	UNIÓN RÁPIDA 90° DE 1/4	1
	20	ADAPTADOR DE 1/2 A 3/8	6
	21	ACRÍLICO PARA TUBERÍAS	1
	22	TORNILLOS, TUERCAS, ANILLOS PLANO Y PRESIÓN	10
	23	EXTENSIÓN PARA 220V	1
MEDICIÓN	24	UNIONES PVC PARA CABLE CONCENTRICO 2"	4
	25	RACORES UNIÓN RÁPIDA 8MM A ¼	2
	26	MANGUERA 8MM	1
	27	RACORES UNIÓN RÁPIDA 12MM A ¼	2
	28	SENSOR DE CAUDAL	1
REPOSICIÓN	29	VÁLVULA SOLENOIDE	1
	30	FUENTE 12V 30 AMP	1
	31	MOTOR DC 12V (MEZCLADOR)	1
	32	SENSORES DE PH	2
	33	BOMBA DE DIAFRAGMA 12V	1
	34	ÁCIDO Y SU ENVASE	1
	35	ALCALINO Y SU ENVASE	1
LIMPIEZA	36	DESOXIDANTE	1
	37	LIJAS	4
	38	DILUYENTE	1

Tabla 1. Lista de componentes y elementos que se utilizaron en el proyecto.

3.2. Etapas de Implementación del Control

La implementación para este proyecto incluye 3 etapas (como se muestra en la figura 33), estas son:

- Etapa de Software
- Etapa de Adquisición de Datos
- Etapa de Aplicación



Figura 33. Etapas de la implementación

3.3. Etapa de Software

En la etapa de Software o procesamiento se realiza la programación en LabVIEW para que la bomba peristáltica funcione en conjunto a los demás actuadores, antes de ejecutar el programa en LabVIEW se verifica la configuración del adaptador de red en el computador y la conexión del cable red entre la pantalla o computador luego se procede a la ejecución del programa en LabVIEW y se dirige a conexión de red e ingresamos la IP: 198.162.1.177 y el puerto 8000 para establecer conexión, es muy importante calibrar los sensores de pH con el programa y las soluciones Buffers de pH 4, pH 7, Ph10 para proceder a las prácticas del módulo, así se da paso a la etapa 2 como se muestra en la figura 34.

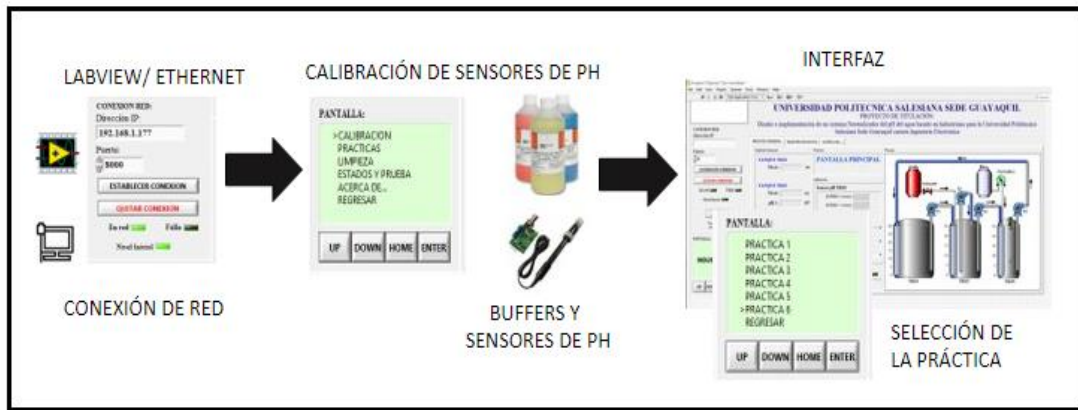


Figura 34. Etapa de Software

3.4. Etapa de Adquisición de Datos

En la etapa de adquisición de datos se encarga de verificar los cambios de lecturas de los sensores que tenemos en el módulo, lo cuales son: sensor ultrasónico(nivel), sensor de temperatura, sensor de pH (envían valores al Industruino) y el sensor de caudal (envía valores al My DAQ) para que se activen los actuadores según la programación en el LabVIEW como se muestra en la figura 35.

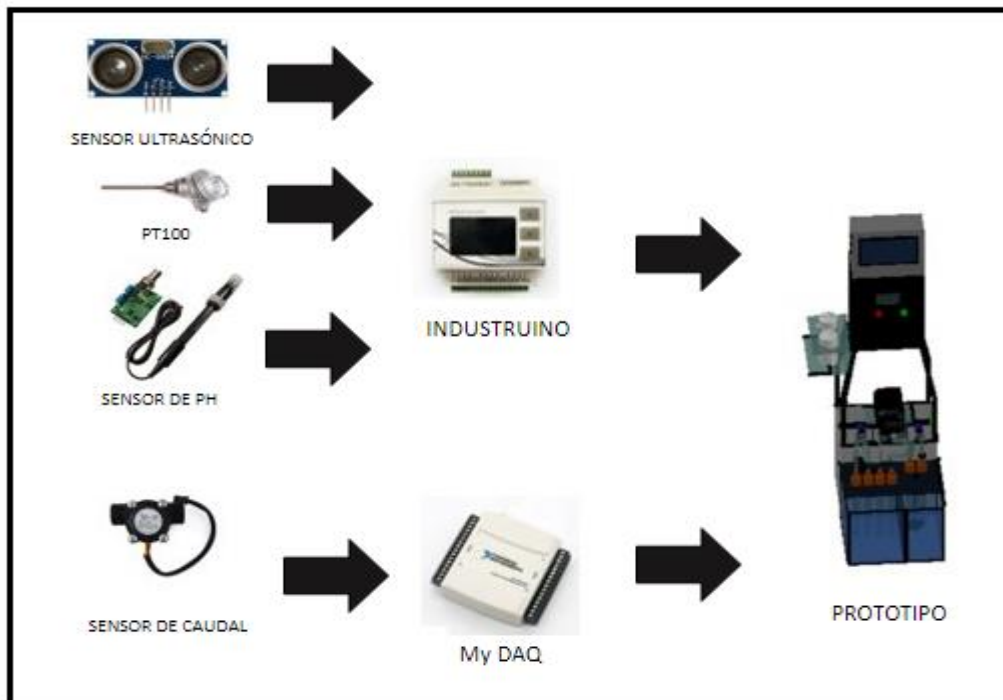


Figura 35. Etapa de Adquisición de Datos

3.5. Etapa de Aplicación

En la etapa de aplicación es el prototipo como tal, los elementos que hacen que el módulo funcione y procese según el contenido de la programación, tales como bombas de diafragma, bomba peristáltica, motor DC del agitador o mezclador, válvula solenoide y estructuras, para lograr la operación de neutralizar el pH en el agua, como se muestra en la figura 36.

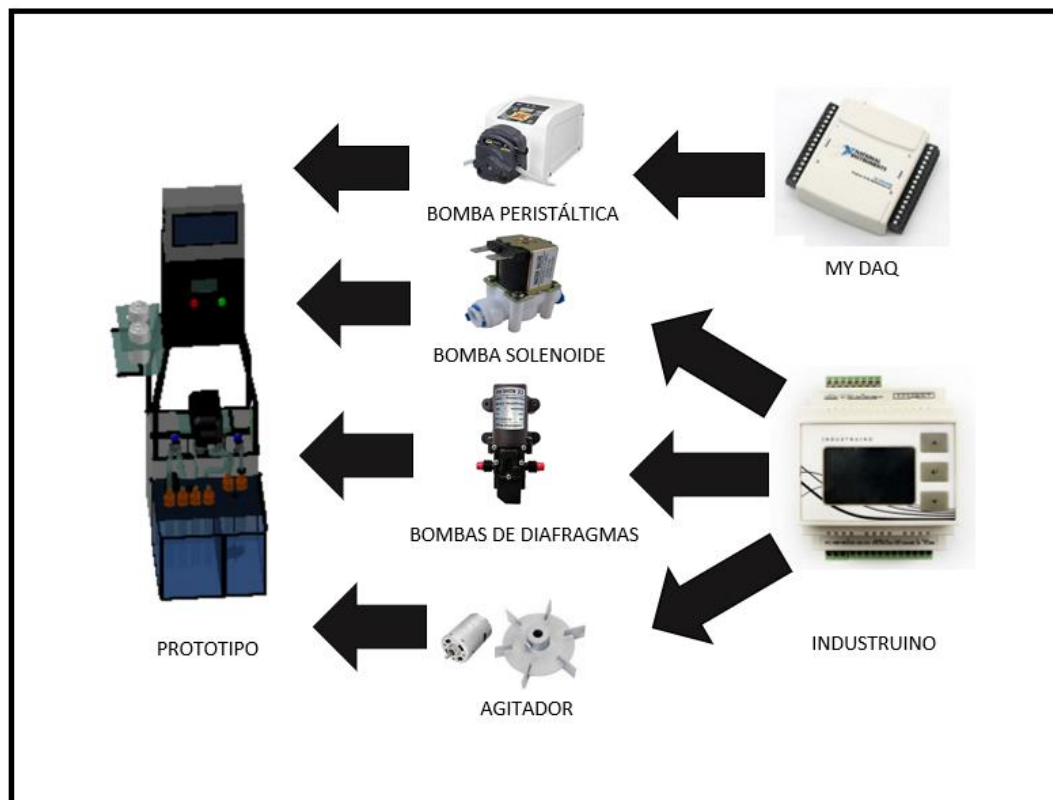


Figura 36. Etapa de Aplicación

3.6. Diagramas de Conexiones

En esta sección 3.6 se describen los diagramas de conexiones de los diferentes periféricos como sensores y actuadores.

3.6.1. Conexión con Bomba Peristáltica (0-5V)

Las conexiones entre el DB15 de la bomba peristáltica y el My DAQ se muestran en la figura 37 y la tabla 2. En la figura 38 se muestran las conexiones de los cables según las especificaciones técnicas que indica el manual de la bomba, se utilizó la que se estimó conveniente para el trabajo realizado.

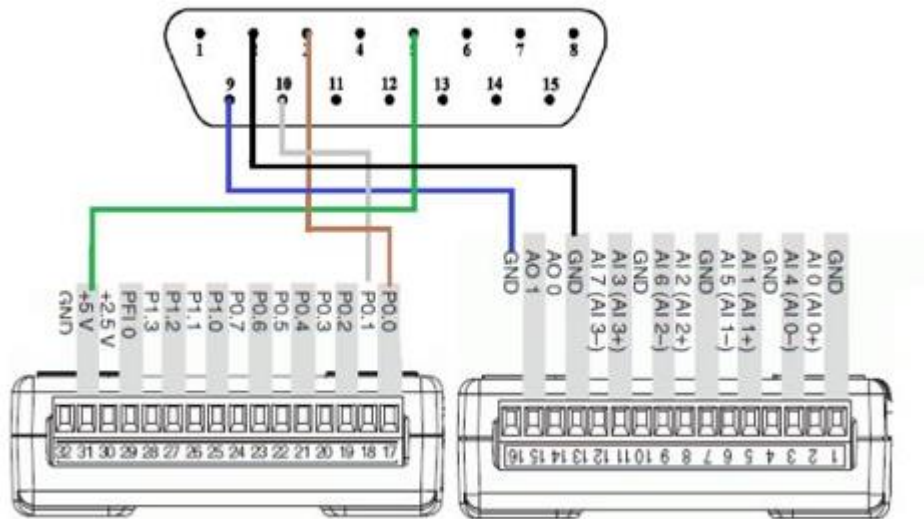


Figura 37. Conexión entre My DAQ y DB15(Bomba Peristáltica)

FUNCION	My DAQ	DB15 (BOMBA PERISTÁLTICA)	COLOR/CABLE
ON/OFF	P0.0	PIN 3	CAFÉ
CW/CCW	P0.1	PIN 10	BLANCO
0-5V	AO0	PIN 5	VERDE
GND	GND	PIN 2	NEGRO
GND	GND	PIN 9	AZUL

Tabla 2. Conexión entre My DAQ y DB15(Bomba Peristáltica)



Figura 38. Ubicación del DB15 macho

3.6.2. Conexión con Sensor de Caudal

Las conexiones entre el sensor de caudal que está adaptado a la manguera de la bomba peristáltica y el My DAQ se muestran en la figura 39 y la tabla 3. Este sensor de caudal es para recopilar los datos del flujo para el Modelado matemático, su fin solo es de medición y no influye estos valores en la función del proceso del módulo.

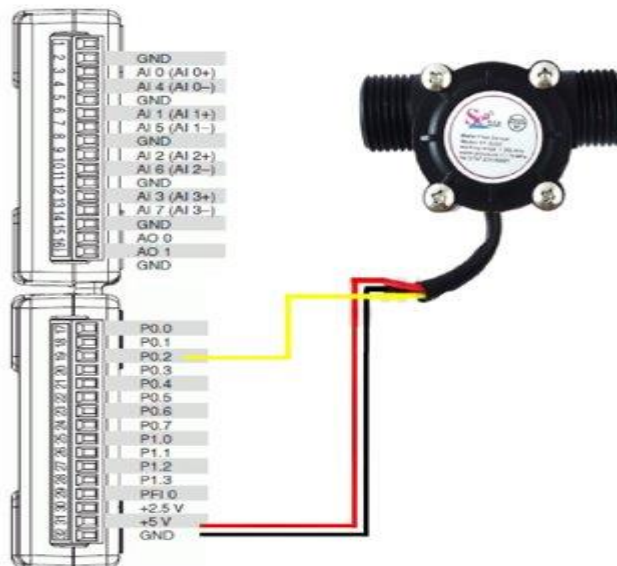


Figura 39. Conexión entre My DAQ y el sensor de Caudal (Bomba Peristáltica)

FUNCION	My DAQ	SENSOR DE CAUDAL
SIGNAL	P0.2	YELLOW
POWER	+5V	RED
REFERENCE	GND	BLACK

Tabla 3. Conexión entre My DAQ y Sensor de Caudal

3.6.3. Conexión del sensor de pH1 y pH2

Las conexiones entre los sensores de pH y el Industruino se muestran en la figura 40 y tabla 4 el sensor pH1, en la figura 41 y la tabla 5 el sensor de pH2.



Figura 40. Conexión entre el Sensor de pH1 Y el industruino

SENSOR PH1	INDUSTRUINO
+5V	
GND	
SIGNAL ANALOG OUTPUT	CH1

Tabla 4. Conexión entre el Sensor de pH1 Y el industruino



Figura 41. Conexión entre el Sensor de pH2 Y el industruino

SENSOR PH2	INDUSTRUINO
+5V	-
GND	-
SIGNAL ANALOG OUTPUT	CH2

Tabla 5. Conexión entre el Sensor de pH2 Y el industruino

3.7. Implementación de Pantalla

Para llevar a cabo el objetivo de monitorear las señales en LabVIEW se procedió a instalar la pantalla de 10 pulgadas que se empotro en el tablero, la mini CPU Intel se colocó adentro del tablero, a este se le hizo modificaciones en cuanto memoria y almacenamiento para así proceder a las instalaciones de Windows actual y LabVIEW donde se ejecutara la práctica, este mini CPU Intel con el Industruino se comunican a través de ethernet mediante un cable de red como se muestra en la figura 42.

En la figura 43, 44, 45, 46 se muestra el proceso de instalación.

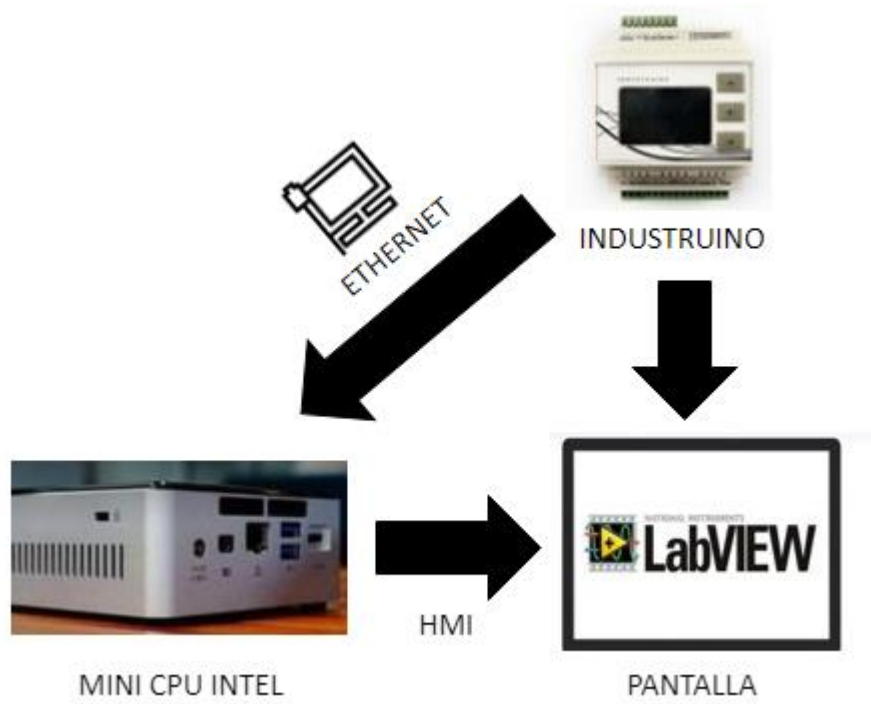


Figura 42. Comunicación entre el Industriino y la pantalla



Figura 43. Instalación de pantalla.



Figura 44. Instalación de disco sólido de 120GB
Y memoria RAM DDR3L 1600Hz 4GB.



Figura 45. Instalación de Windows y LabVIEW 2019.



Figura 46. Colocación de tablero en la estructura.

3.8. Configuración de IP en pantalla o en el computador

Para la configuración IP en la pantalla hay que seguir los siguientes pasos que se muestran en la figura 47 y 48:

1. Clic en Inicio
2. Clic en Panel de control
3. Clic en Centro de redes y recursos compartidos
4. Clic en Cambiar configuración del adaptador
5. Clic en Ethernet
6. Clic en Protocolo de internet versión 4 (TCP/IPv4) y configurar con una dirección IP cercana a la que va a usar en este caso se usó 192.168.1.50 y mascar de subred 255.255.255.0 validar configuración al salir y aceptar.

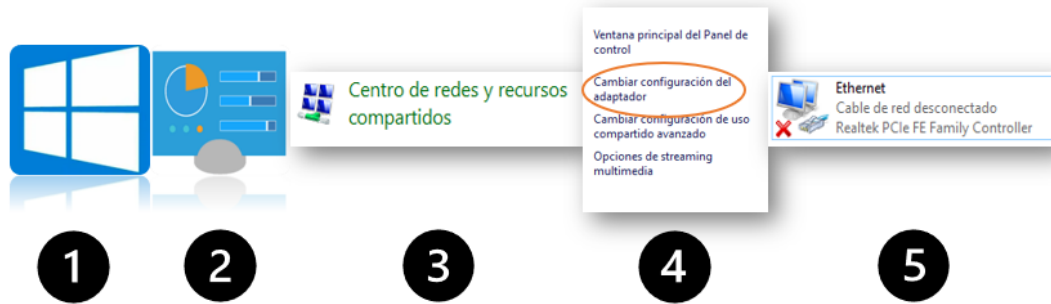


Figura 47. Pasos para configurar IP- parte 1

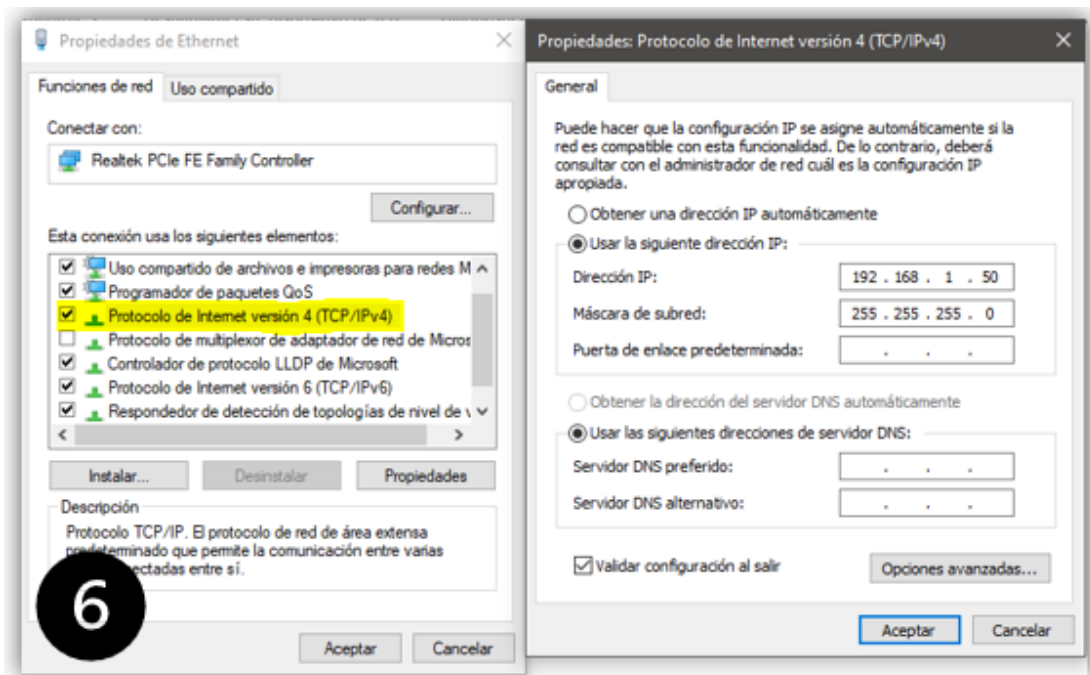


Figura 48. Pasos para configurar IP- parte 2

3.9. Configuración en la Bomba Peristáltica

Según el manual de la bomba peristáltica que se encuentra en el Anexo 2 se utilizó la guía de configuración que observamos en la Tabla 6 traducido en español, a continuación, se detalla la respectiva configuración para el control externo y en la figura 49 se muestra los botones:

- 1.- Presionar botón Set
- 2.- Para seleccionar H-07 presionamos botón Arriba
- 3.- Luego presionar START/stop
- 4.- Escogemos la opción 2, presionamos START/stop

5.- Así mismo buscamos H-11 y escogemos la opción 1.



Figura 49. Configuración en (H-07 Y H-11) para control externo

GUIA DE CONFIGURACIÓN				
CODIGO	ITEM	CIFRAS	MEDIO	NOTAS
H-01	UNIDAD DE TIEMPO	1	SEGUNDO	
		2	MINUTO	
		3	HORA	
H-02	TIEMPO DE ARRANQUE	0 - 59	SEGUNDO	LOS DATOS COMBINADOS EN SEGUNDO
		0 - 59	MINUTO	
		0 - 59	HORA	
H-03	TIEMPO DE PARADA	0 - 59	SEGUNDO	LOS DATOS COMBINADOS EN SEGUNDO
		0 - 59	MINUTO	
		0 - 59	HORA	
H-04	EJECUTAR CANTIDAD	0 - 9999	FRECUENCIA	
H-05	FECHA CLARA	-88-		BORRA TODO LOS ELEMENTOS
H-06	MÁXIMA VELOCIDAD	0.0 - 600.00	RPM/MIN	
H-07	EL CONTROL EXTERNO ESTÁ HABILITADO	1	CONTROL INTERNO	EL INTERRUPTOR DE PIE TAMBIÉN ES CONTROL INTERNO
		2	CONTROL EXTERNO	
H-08	DIRECCIÓN ESCLAVA	0 - 30		ELIGE EL TIPO EN H11
H-09	INTERRUPTOR DE PIE	1		
		2		
H-10	CHUPAR - ÁNGULO DE LA ESPALDA	0 - 360	GRADO	
H-11	TIPO DE CONTROL EXTERNO	1	0 - 5V	CONFIRMAR OPCIÓN H07 - 2
		2	0 - 10V	
		3	4 - 20 MA	

		0	MODBUS	
H-12	ESTADO DE ENCENDIDO	1	ENERGÍA DE RESERVA	
		2	ENCENDIDO	MODO DE TIEMPO NO VÁLIDO

Tabla 6. Guía de configuración de la Bomba peristáltica

Luego de configurar se realizó una programación de control de la bomba en LabVIEW para probar el control externo véase en la figura 50 y 51.

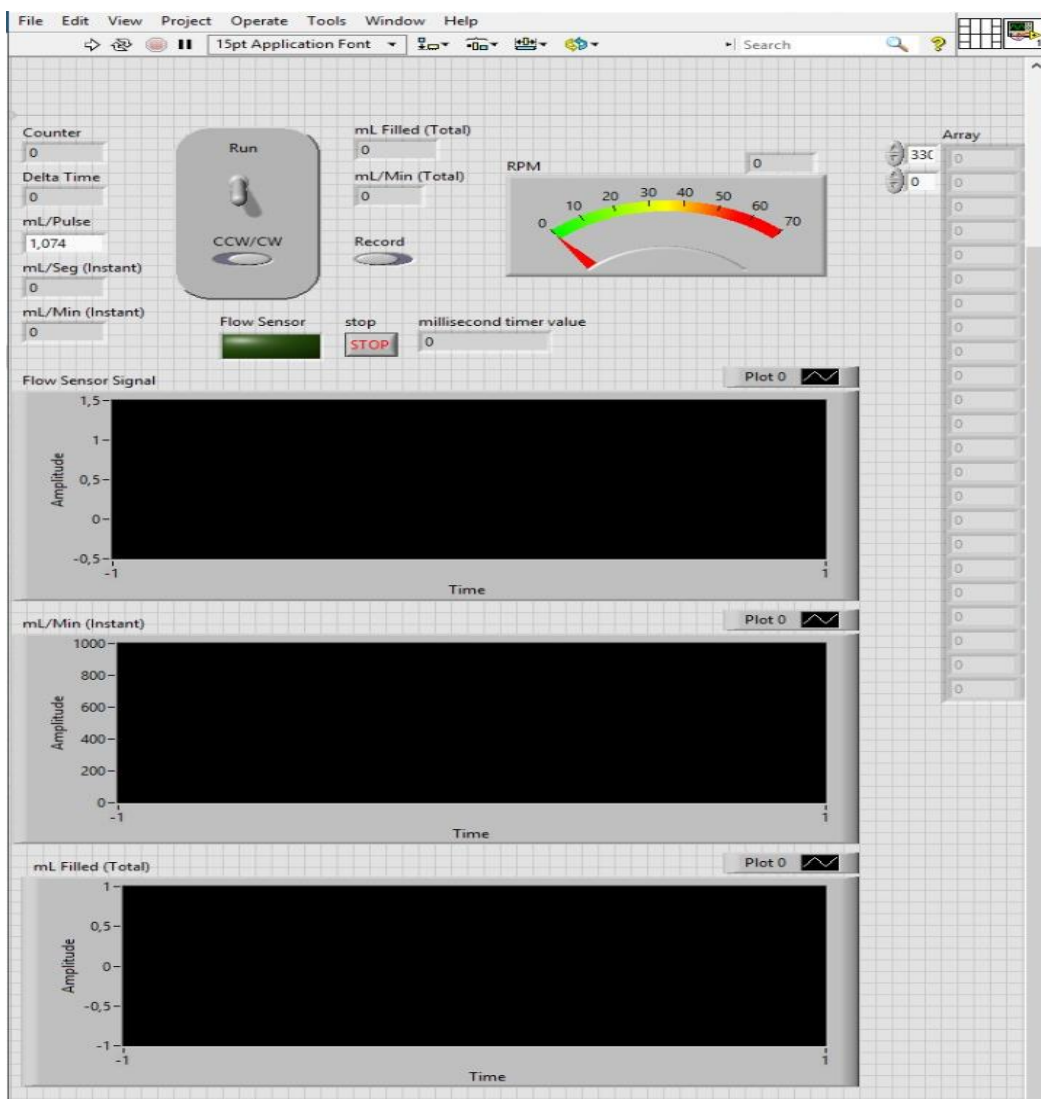


Figura 50. Control de la Bomba peristáltica en el Panel Frontal de LabVIEW

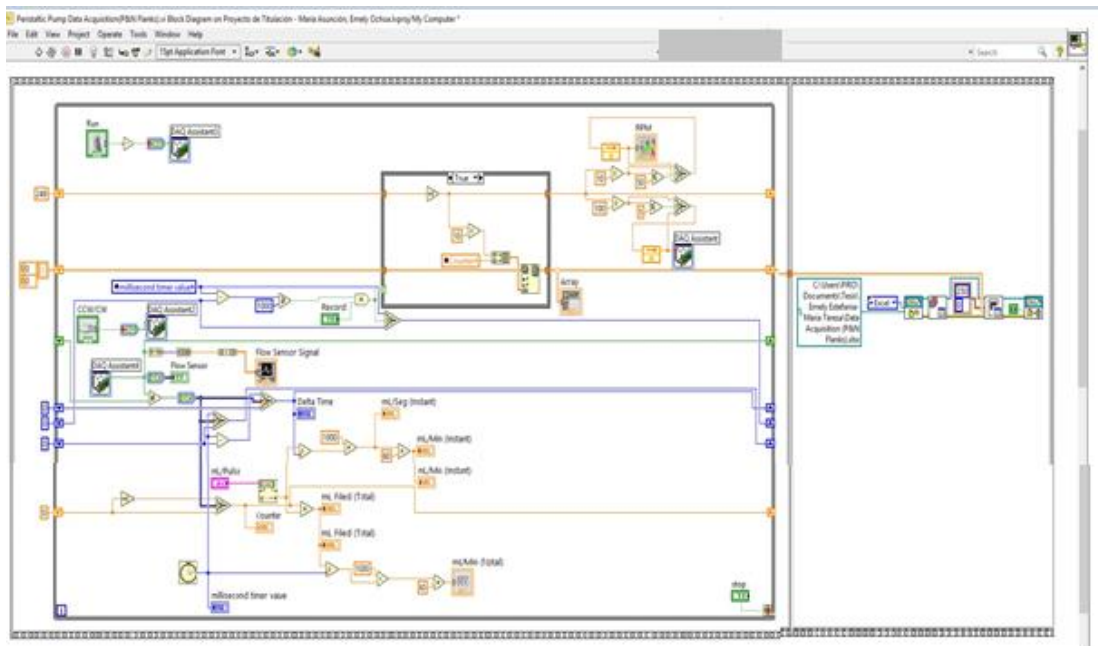


Figura 51. Programación del control de la Bomba peristáltica en el Diagrama de bloques de LabVIEW

3.10. Calibración de Sensores de pH

Para la calibración de los sensores de pH se realiza una programación básica en Arduino para obtener valores máximos y mínimos de voltaje para hallar la media, para esto se coloca en recipientes los 3 distintos buffers que son: ph-4, ph-7 y ph-12 (ver en la figura 52 y 53), antes de pasar el sensor de un buffer a otro se debe pasar el sensor por agua destilada. Así se procede con cada sensor (pH1 Y pH2) para obtener los valores que se encuentra en la tabla 7 y 8.

SENSOR pH1			
BUFFER	VOLT. MAX	VOLT. MIN	VOLT. MEDIO
pH4	3.0	3.1	3.2
pH7	2.5	2.55	2.6
pH12	1.9	2.05	2.2

Tabla 7. Valores que se obtuvo del sensor de pH1

SENSOR pH2			
BUFFER	VOL. MAX	VOL. MIN	VOL. MEDIO
pH4	3.01	3.11	3.2
pH7	2.5	2.56	2.61
pH12	1.87	2.03	2.2

Tabla 8. Valores que se obtuvo del sensor de pH2

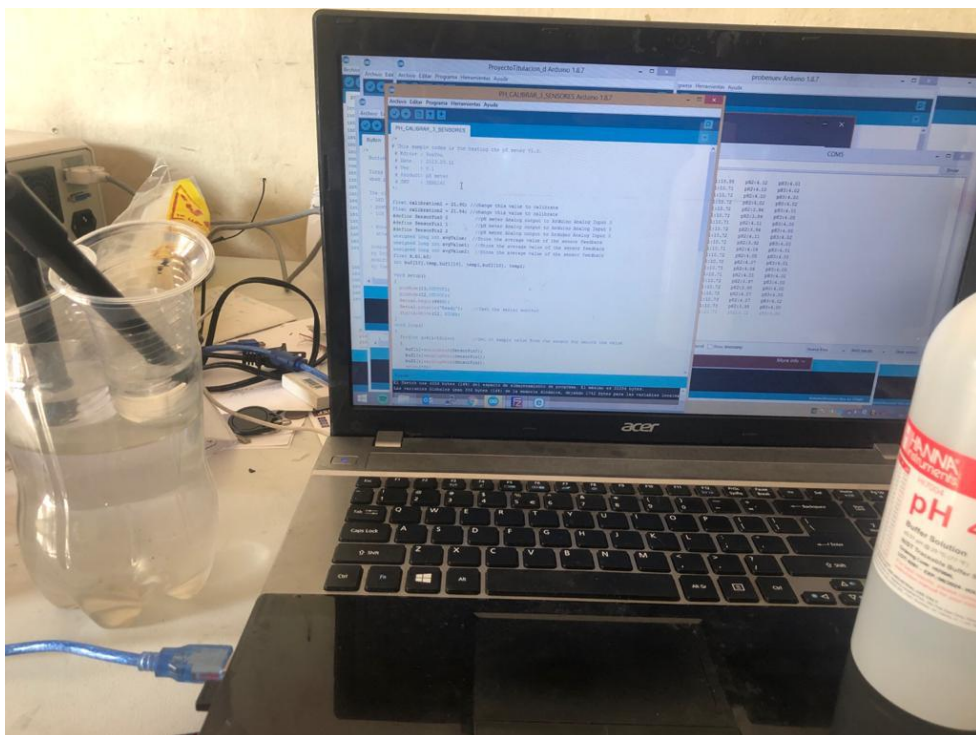


Figura 52. Calibración de sensores pH1 Y pH2



Figura 53. Buffers para pruebas.

3.11. Diagrama PI&D

El diagrama PI&D está conformado por tanques, sensores de nivel, flujo y temperatura, bombas e instrumentos que se usan durante el proceso de la planta, mostrando el flujo de las tuberías e instalaciones de equipos de esta, como se visualiza en la figura 54.

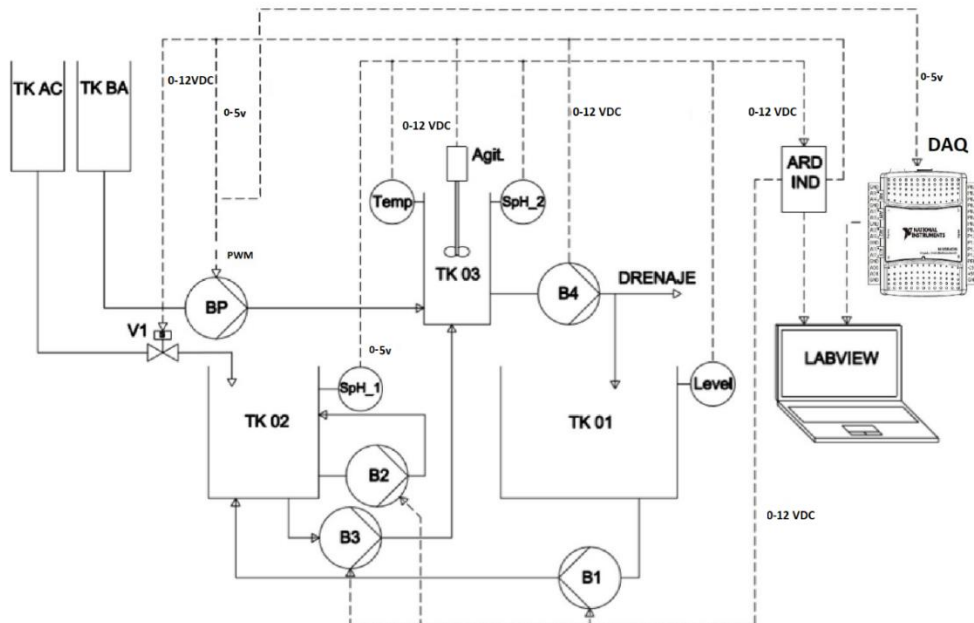


Figura 54. Diagrama PI&D para un Sistema Neutralizador de pH en Aguas Ácidas.

Descripción de las siglas del sistema neutralizador del pH del agua:

- TK01: Tanque de Reserva
- TK02: Tanque de agua residual
- TK03: Tanque Reactor
- TKBA: Reservorio de base.
- TKAC: Reservorio de ácido.
- B1: B2: B3: B4: Bombas diafragma
- BB: Bomba dosificadora peristáltica.
- AG: Agitador
- LC: Level Control
- TT: Transmitter Temperature
- SpH: Sensor Potencial Hidrogeno (pH)
- ARD: Arduino
- V1: Válvula Solenoide
- V2: Válvula de tres vías

3.12. Modelado matemático

Para descubrir la ecuación matemática que describa el comportamiento de la bomba peristáltica y cómo reacciona el pH del tanque Tk3 se utiliza herramientas como Excel y Matlab R2018a de la siguiente manera: Se procede a muestrear la naturaleza de la bomba peristáltica con respecto a las revoluciones por minuto vs. el cambio de pH en el tiempo como se visualiza en la figura 55.

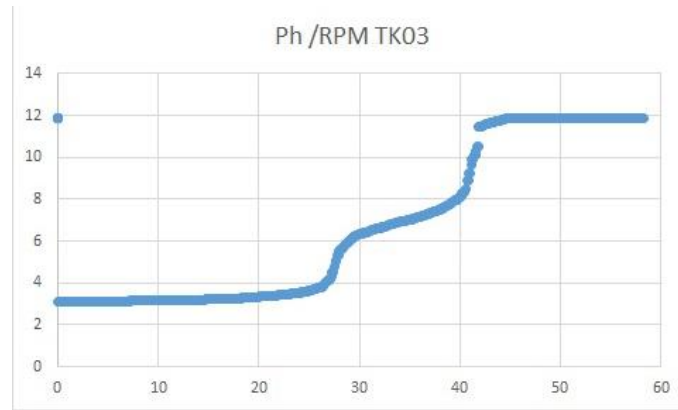


Figura 55. Gráfica de PH/RPM vs Tiempo

Se utilizó la herramienta ident de Matlab “System Identification” para obtener el modelado matemático de la planta. Importar los datos especificando en el Workspace cuales son los datos de entrada y salida con variables U1 y Y1 respectivamente, tal como se visualiza en la figura 56 a continuación.

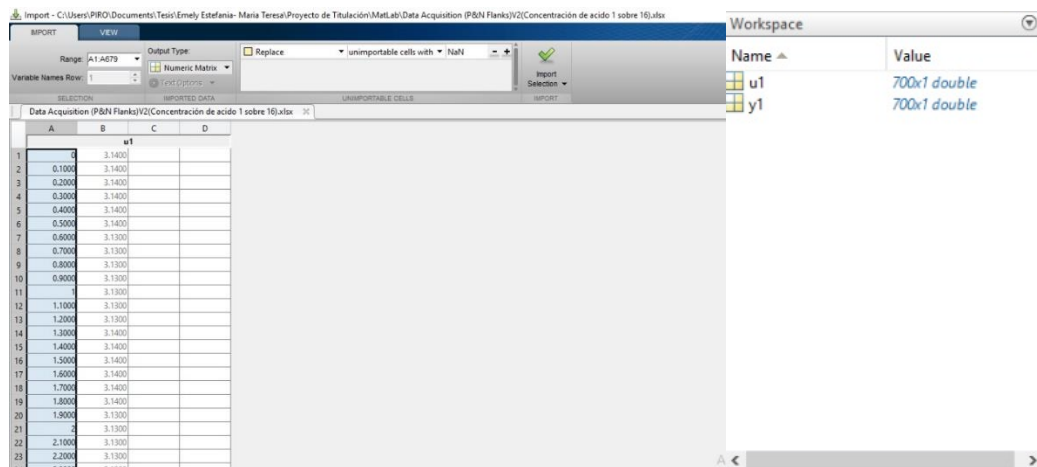


Figura 56. Adquisición de datos al Workspace

Se debe de especificar la señal de entrada y salida en el Toolkit en la sección del Workspace variable y en Data Information el Starting Time corresponde a cero, el Sample Time pertenece a uno esto debido a que la recolección de datos empezó desde los ceros segundos y el período de recolección de datos corresponde un dato cada segundo como se visualiza en la figura 57.

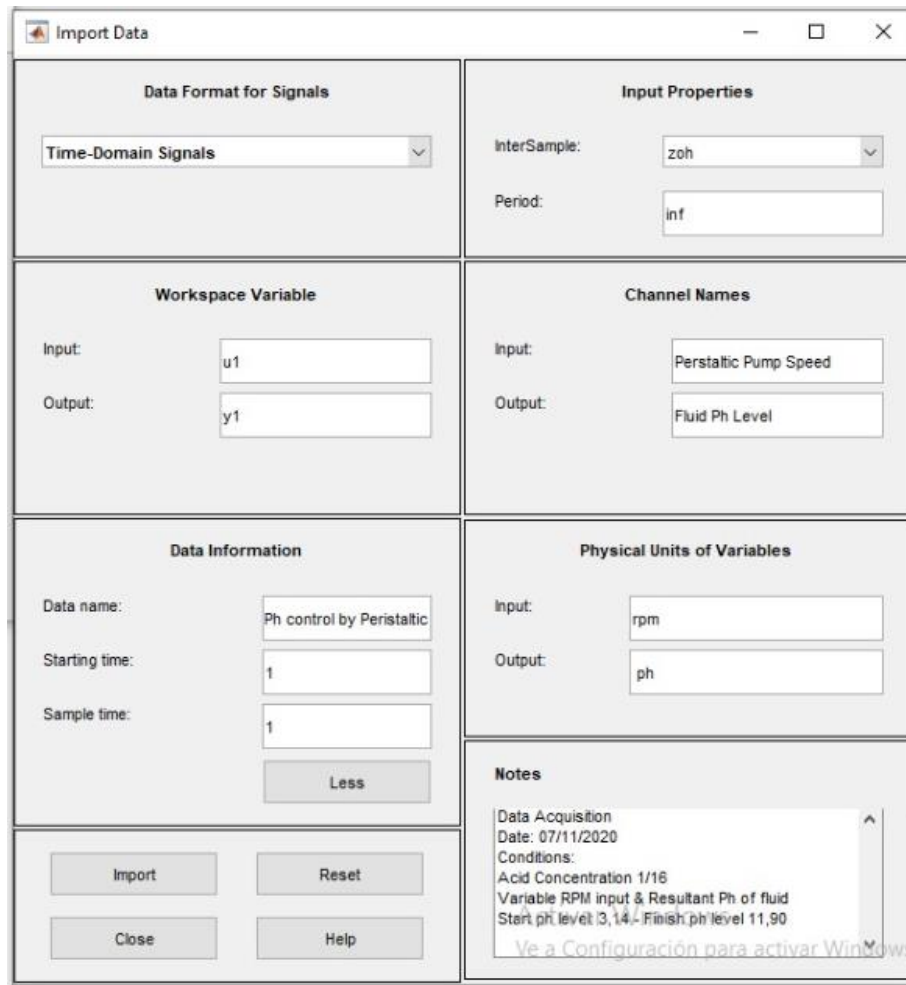


Figura 57. Import Data

Se procesa los datos en el Toolkit para obtener la función de transferencia mediante prueba y error con tantos polos - ceros como sea necesario así la fiabilidad de la función de transferencia sea mayor o igual al 90% según (Ogata, 1970).

La cantidad de polos y ceros para la señal estimada, se exporta al Workspace la función de transferencia y se muestra para comodidad del usuario, en este caso se obtuvo un 90.69 % de semejanza con los datos estimados usando 7 polos y 3 ceros como se puede visualizar en la figura 58, 59 y 60.

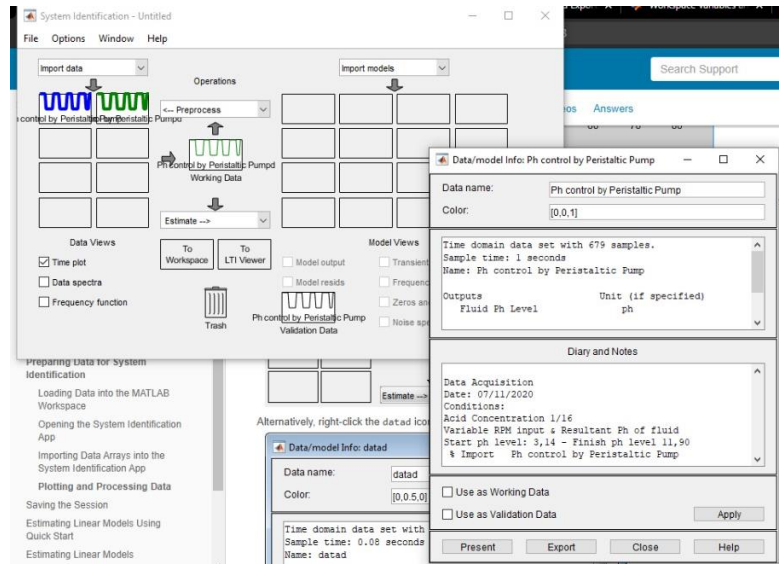


Figura 58. Modelando (polos y ceros)

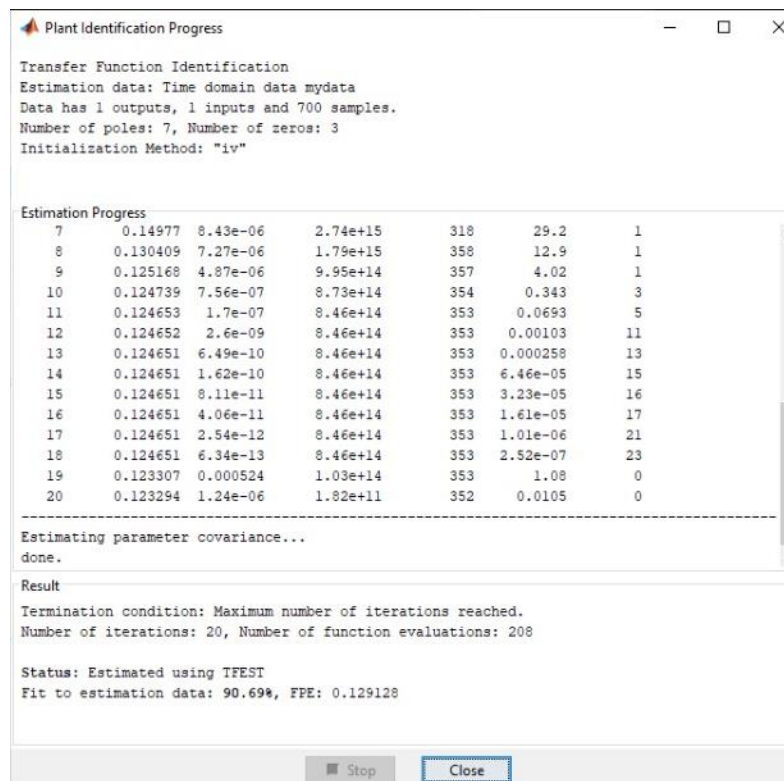


Figura 59. Transfer Function Identification (estimación de datos)

```

Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
>> systemidentification
>> systemidentification
>> systemidentification
>> G = tf (tf3)

G =

From input "u1" to output "y1":
-----
1.855e-07 s^3 + 1.428e-08 s^2 + 1.746e-10 s + 1.915e-13
-----
s^7 + 0.1818 s^6 + 0.00979 s^5 + 0.001384 s^4 + 1.676e-05 s^3 + 1.305e-07 s^2 + 6.142e-10 s + 2.091e-12

Name: tf3
Continuous-time transfer function.

```

Figura 60. Estimación de la función de transferencia con 7 polos y 3 ceros

En el Workspace se obtiene la función de transferencia de la bomba peristáltica, los valores de las constantes del control PID, k_p , k_i y k_d por medio de la herramienta Simulink del software Matlab2013b.

En Simulink se implementa el lazo de control cerrado, el cual consta de una entrada paso, un sumador, el controlador PID, la función de transferencia de la planta y Scope como se visualiza en la figura 61.

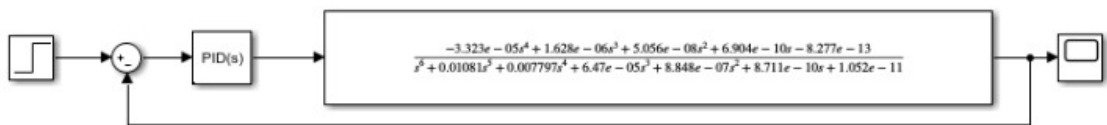


Figura 61. Diagrama de bloques para la respuesta tipo paso

Si bien los datos que se debe obtener son válidos, la respuesta obtenida de la naturaleza de la planta se nota un poco excéntrica debido a factores como: la discontinuidad del flujo vs. rpm de la bomba peristáltica tal y como se observa en la figura 55 en donde notamos que hay bandas de frecuencia que alimentan con mayor cantidad de fluido en comparación a otras frecuencias. Para facilitar el modelamiento de la planta simplificaremos el proceso de obtención de datos eliminando la variación de frecuencia, usando una frecuencia fija tal como un encendido y apagado de la bomba peristáltica (usando una frecuencia de rpm de 50).

En la figura 62 se demuestra los datos que se debe obtener a partir de esta simplificación.

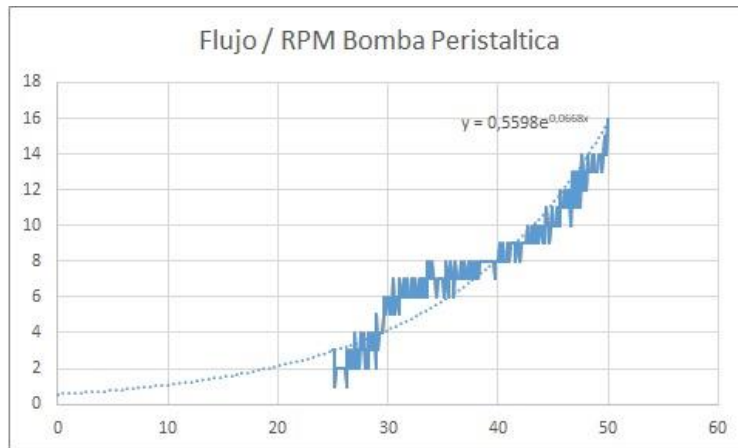


Figura 62. Flujo vs. Rpm de la Bomba peristáltica en 50 rpm.

Nótese que de esta manera los datos obtenidos presentan una continuidad más amigable a la hora de procesarlos y de obtener una curva matemática que describa dichos datos.

Nota: Todas estas pruebas fueron realizadas en una disolución de base alcalina y agua con concentración de 1/16, una parte de base alcalina por cada 16 partes de disolución, esto con la intención de simular un tamaño de tanque o reservorio mayor al que se tiene en la planta física.

Se procede a seguir los pasos que se realizó anteriormente para obtener la función de transferencia.

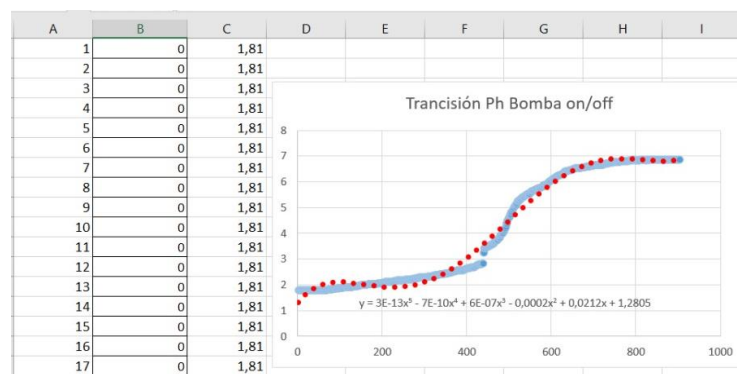


Figura 63. Trancisión de Ph vs tiempo de la Bomba peristáltica con control on/off.

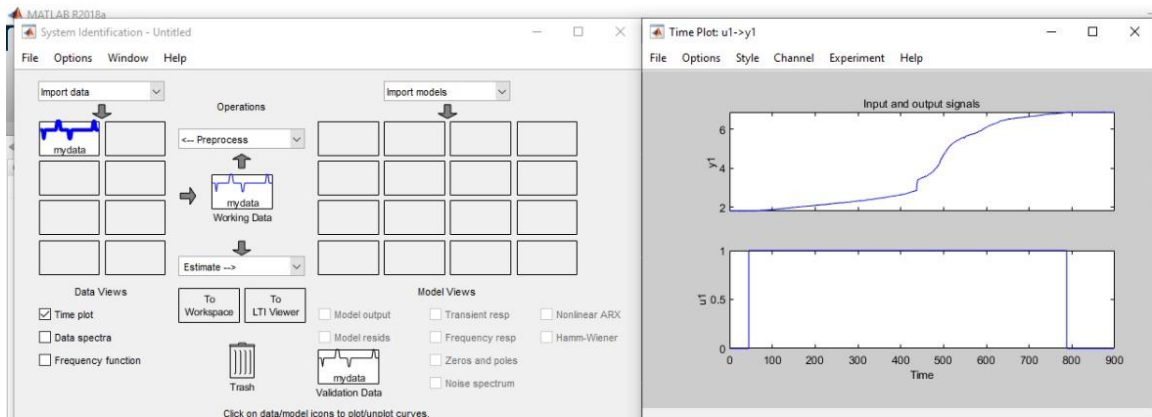


Figura 64. Datos muestreados del control on/off en el toolkit de matlab.

Por motivos de muestreo y fidelidad de datos se buscó dos funciones de transferencia de diferentes polos y ceros pero que tengan alta afinidad con los datos ingresados para después compararlas y decidir estratégicamente con cual función de transferencia se sigue trabajando, siendo este el caso fue obtenido una función de transferencia con 5 polos - 0 ceros, y otra con 7 polos - 3 ceros las cuales se denominó tf1 y tf2 respectivamente las que se procede a describir posteriormente.

Se exporta al Workspace la función de transferencia "tf1" y se visualiza para comodidad del usuario, en este caso se obtuvo un 90.77% de semejanza con los datos estimados usando 5 polos - 0 ceros como se muestra en la figura 65.

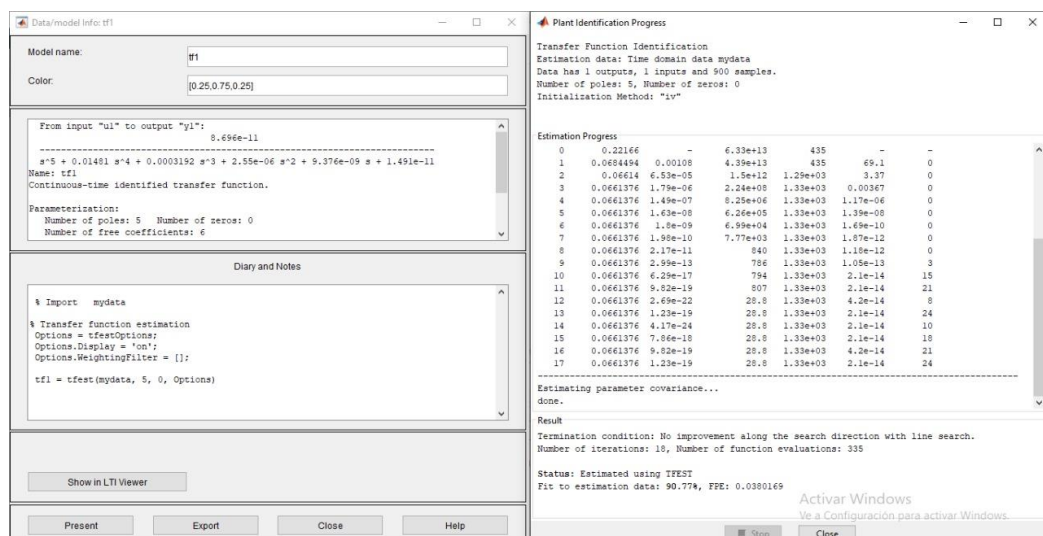


Figura 65. Identificación de la Función de transferencia “tf1”, con afinidad del 90.77 %

```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
In ident (line 44)
>> G = tf (tf1)

G =

From input "u1" to output "y1":
      8.696e-11
-----
s^5 + 0.01481 s^4 + 0.0003192 s^3 + 2.55e-06 s^2 + 9.376e-09 s + 1.491e-11

Name: tf1
Continuous-time transfer function.
```

Figura 66. Función de transferencia “tf1” visualizada en Command Window de Matlab

Se obtiene una fidelidad del 90.77 % de semejanza con los datos originales mediante el uso de 5 polos y 0 ceros como se muestra en la figura 65. En el Workspace presenta la función de transferencia con la línea de comando $G = tf (tf1)$ como se observa en la figura 66.

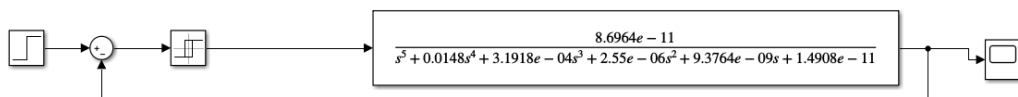


Figura 67. Diagrama en lazo cerrado de la Función de transferencia “tf1”

Al obtener la función de transferencia en el Workspace se podrá hallar los valores de las constantes del control PID tradicional, k_p , k_i y k_d utilizando la herramienta Simulink del software Matlab.

Utilizando el lazo de control cerrado el cual tiene una entrada paso, un sumador, el controlador PID, la función de transferencia obtenida de la planta y el scope para visualizar la gráfica como se puede observar en la figura 68 y 70.

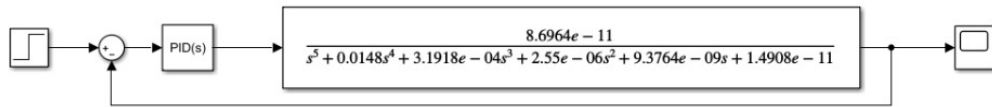


Figura 68. Diagrama de lazo cerrado control PID de “tf1”

En el PID Controller se carga la función de transferencia hallada, se procede a ajustar parámetros del tiempo de respuesta y robustez del sistema, encontrando valores ideales de k_p , k_i y k_d , con el fin de obtener la gráfica de respuesta de la planta.



Figura 69. Respuesta del controlador PID

Se obtuvo la gráfica del controlador PID ajustado con un SetPoint de 7 en la escala de pH y se procede a comparar la respuesta de la función de transferencia sin controlador PID.

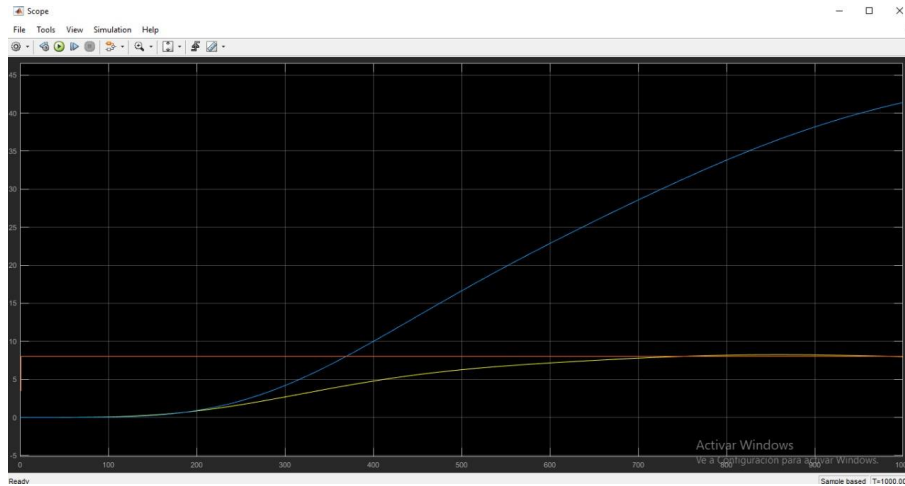


Figura 70. Respuesta del controlador en lazo cerrado, sin control PID (color azul), con control PID (color amarillo), entrada tipo paso (color rojo), referente a “tf1”

Se exporta al Workspace la función de transferencia “**tf2**” y se la muestra para comodidad del usuario, en este caso se obtuvo un 94.27% de semejanza con los datos estimados usando 7 polos y 5 ceros como se puede visualizar en la figura 71.

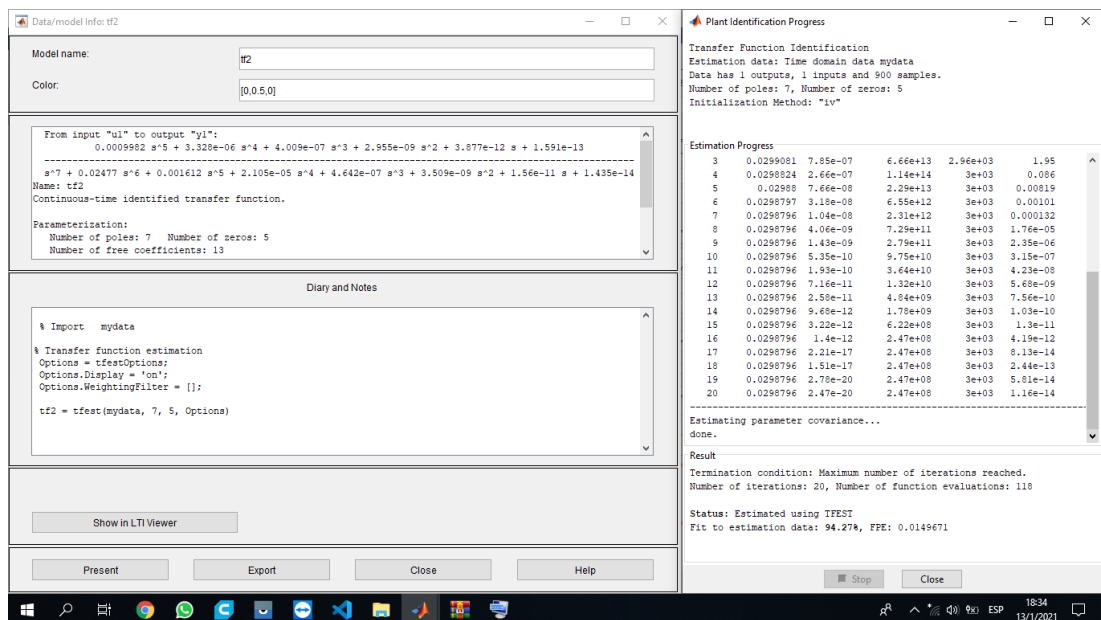


Figura 71. Identificación de la Función de transferencia “**tf2**”, con afinidad del 94.27 %.

```

Command Window
G2 =
Name: tf2
Continuous-time transfer function.
From input "u1" to output "y1":
-----
0.0009982 s^5 + 3.328e-06 s^4 + 4.009e-07 s^3 + 2.955e-09 s^2 + 3.877e-12 s + 1.591e-13
-----
s^7 + 0.02477 s^6 + 0.001612 s^5 + 2.105e-05 s^4 + 4.642e-07 s^3 + 3.509e-09 s^2 + 1.56e-11 s + 1.435e-14
tf >>

```

Figura 72. Función de transferencia "tf2" visualizada en Command Window de Matlab.

En el Workspace presenta la función de transferencia con la línea de comando $G = tf(tf2)$ como se observa en la figura 72.

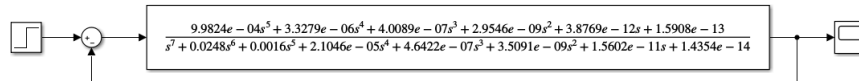


Figura 73. Diagrama en lazo cerrado de la Función de transferencia "tf2".

Al obtener la función de transferencia en el Workspace se podrá hallar los valores de las constantes del control PID tradicional, k_p , k_i y k_d utilizando la herramienta simulink del software Matlab como se puede observar 73 y 75. Implementa el lazo de control cerrado el cual tiene una entrada paso, un sumador, el controlador PID, la función de transferencia obtenida de la planta y el scoop para obtener la gráfica como se visualiza en la figura 74 y 76.

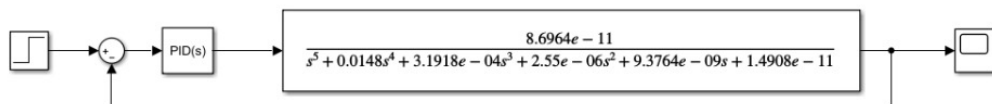


Figura 74. Diagrama de lazo cerrado control PID de "tf2"

En el PID Controller se carga la función de transferencia hallada, se procede a ajustar parámetros del tiempo de respuesta y robustez del sistema, encontrando valores ideales de k_p , k_i y k_d , con el fin de obtener la gráfica de respuesta de la planta.

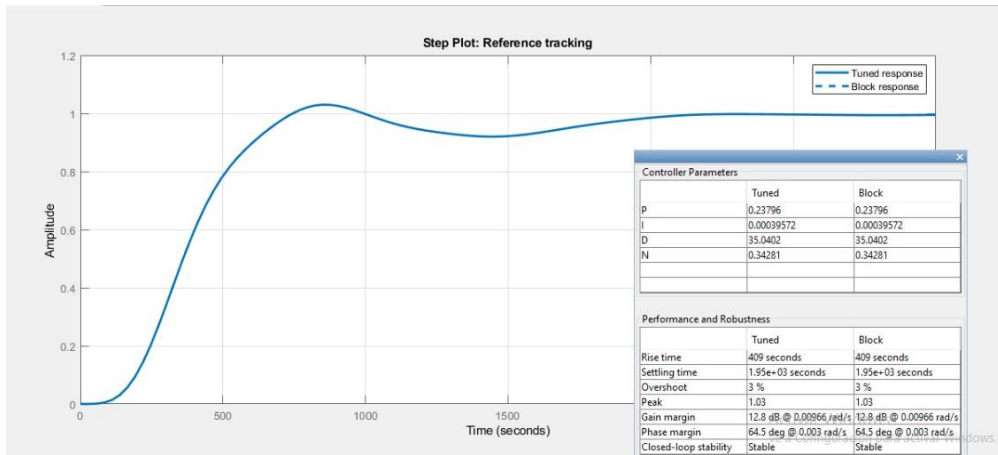


Figura 75. Respuesta del controlador PID (verificar foto de valores PID)

Se obtiene la gráfica del controlador PID ajustado con un SetPoint de 7 en la escala de pH y se procede a comparar la respuesta de la función de transferencia sin controlador PID como se puede ver en la figura 76.

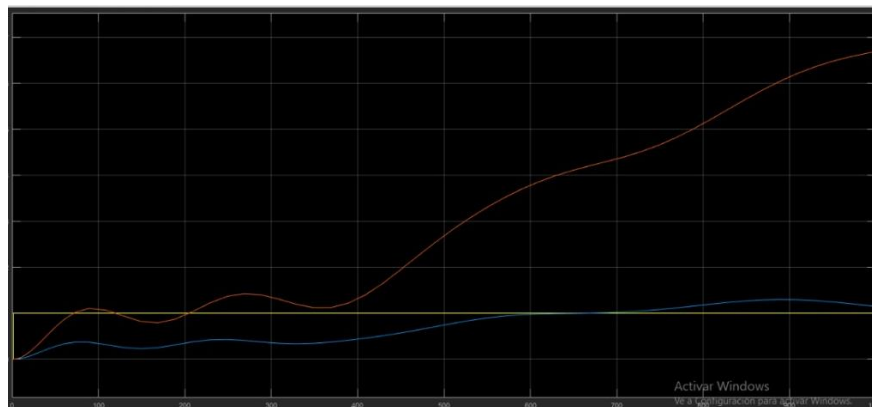


Figura 76. Respuesta del controlador en lazo cerrado, sin control PID (color azul), con control PID (color amarillo), entrada tipo paso (color rojo)

Tal y como se observa existe una diferencia en la respuesta de ambas funciones de transferencia tf_1 y tf_2 (véase figura 70 y 76) si bien tf_2 muestra mayor afinidad con los datos muestreados (véase figura 71), el comportamiento simplista de tf_1 da la impresión de ser más conveniente de trabajar y presenta una respuesta más a fin con lo que se esperaría en la

transición de pH en el tanque TK3 al suministrar un reactivo alcalino a la solución. Es un hecho que tf_1 es considerablemente simple en comparación con tf_2 por lo que a partir de ahora tomaremos a tf_1 como referencia principal para describir el comportamiento físico de nuestra planta.

3.13. Configuración y Programación del PID Difuso

Para la configuración de este control PID Difuso, se utilizan las constantes (k_p , k_i , k_d) como se puede visualizar en la figura 77, estas se obtuvieron en Matlab para un PID tradicional, para hallar mediante prueba y error las nuevas constantes para el controlador PID Difuso como se observa en la figura 79.

En la figura 78, 80 y 81 se visualizan las gráficas de la salida del controlador PID, controlador PID difuso y la comparación de ambas señales.

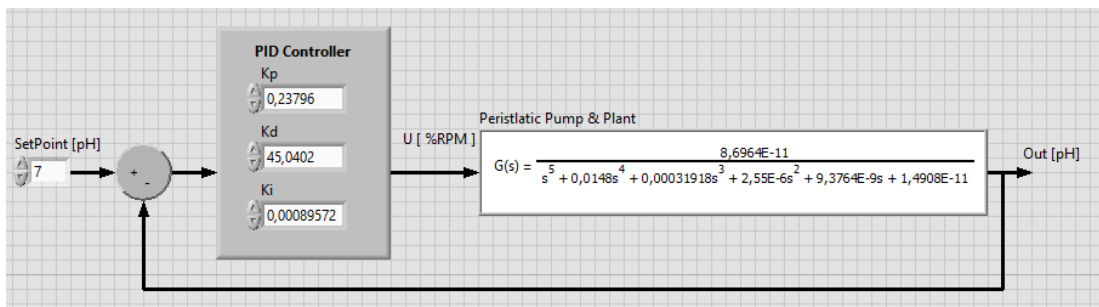


Figura 77. Constantes k_p , k_i y k_d del PID tradicional

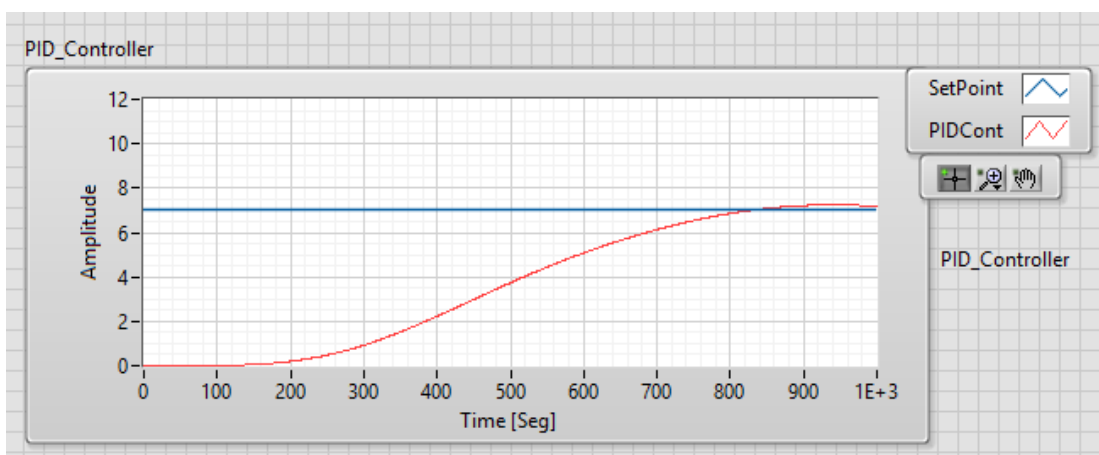


Figura 78. Señal de salida del controlador PID

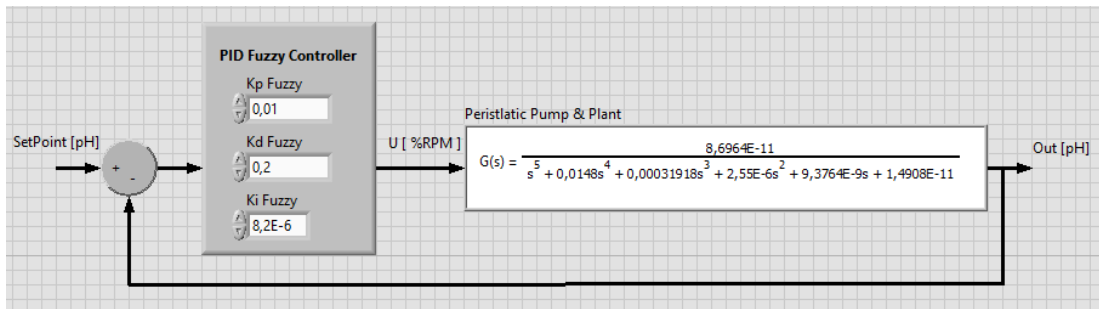


Figura 79. Constantes kp, ki y kd del PID Difuso

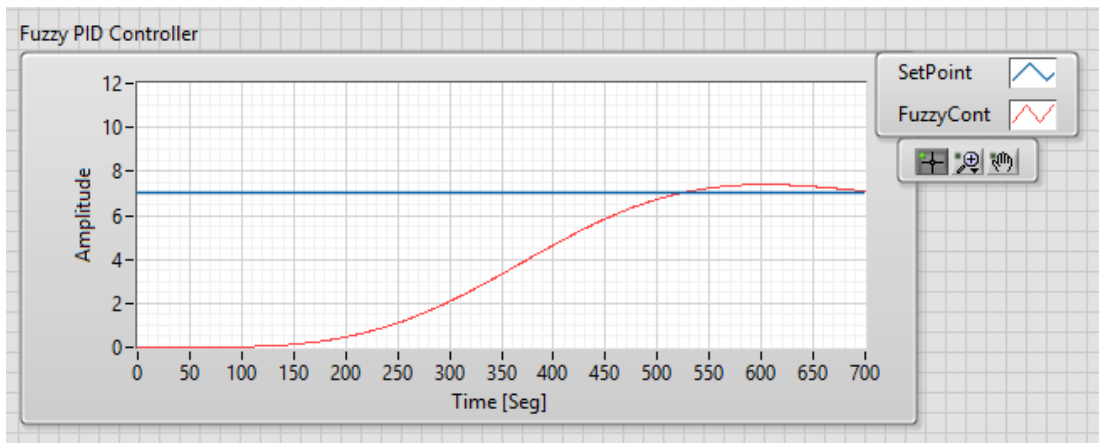


Figura 80. Señal de salida del controlador PID difuso (Ph)

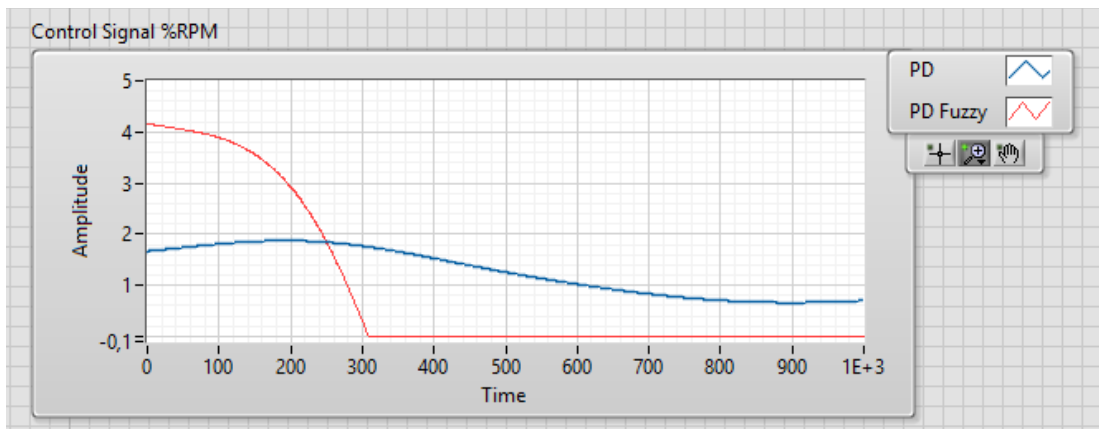


Figura 81. Comparación del esfuerzo entre el PID (color azul) y el PID difuso (color rojo)

Para simplificar el número de reglas y la complejidad del sistema Difuso se diseñó dos sistemas: un PD (Proporcional Derivativo) y un PI (Proporcional Integral), ambas tienen dos entradas y una salida que están conformadas por:

PD (Proporcional Derivativo)

- Entrada 1: K_p (Constante Proporcional) que multiplica al Error.
- Entrada 2: K_d (Constante Derivativa) que multiplica a la Derivada del Error (derror).

PI (Proporcional Integral)

- Entrada 1: K_i (Constante Integral) que multiplica al Error.
- Entrada 2: K_p (Constante Proporcional) que multiplica a la Derivada del Error (derror).

Luego utilizando un sistema MISO (Multiple Input Simple Out Put) en LabVIEW se obtuvo en cada una la salida que es el porcentaje de rpm para la bomba peristáltica, estas salidas se suman y se obtiene el PID Difuso como se visualiza en el diagrama de referencia en la figura 82.

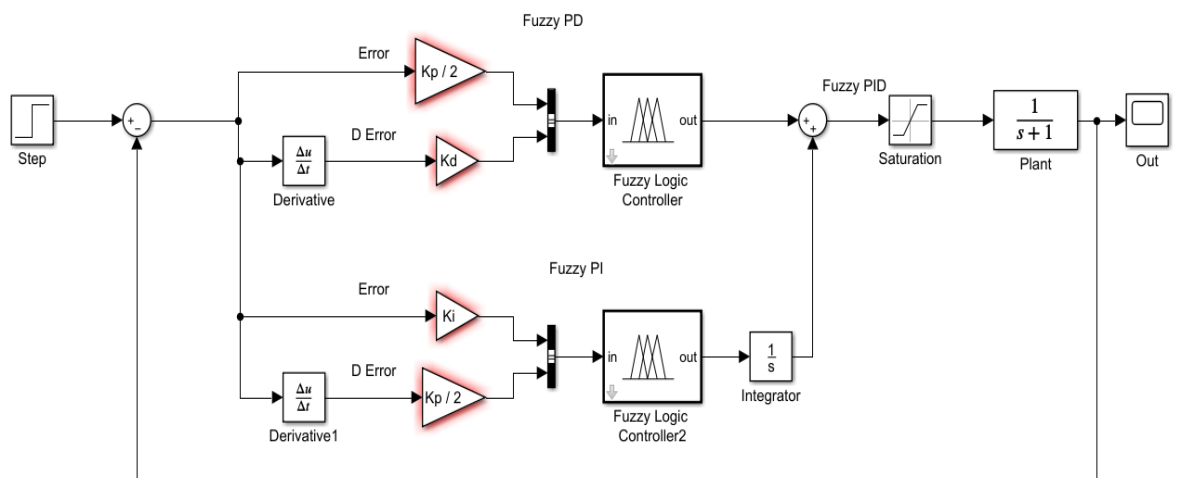


Figura 82. Diagrama del PID difuso

A continuación se procede a mostrar las nuevas reglas de pertenencia que se crearon a través de prueba y error en la tabla 9. También se muestra la relación entre la entrada y salida como se visualiza en las figuras 83, 84, 85 y 86.

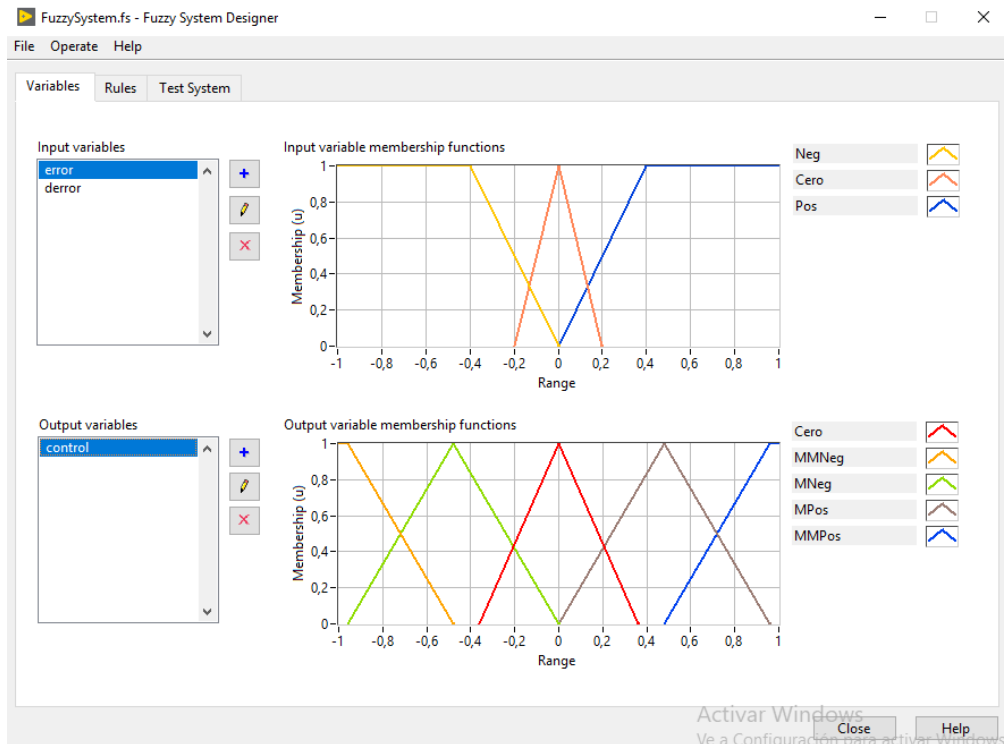


Figura 83. Reglas de pertenencia entrada uno (error) y salida de control (%rpm) del sistema difuso

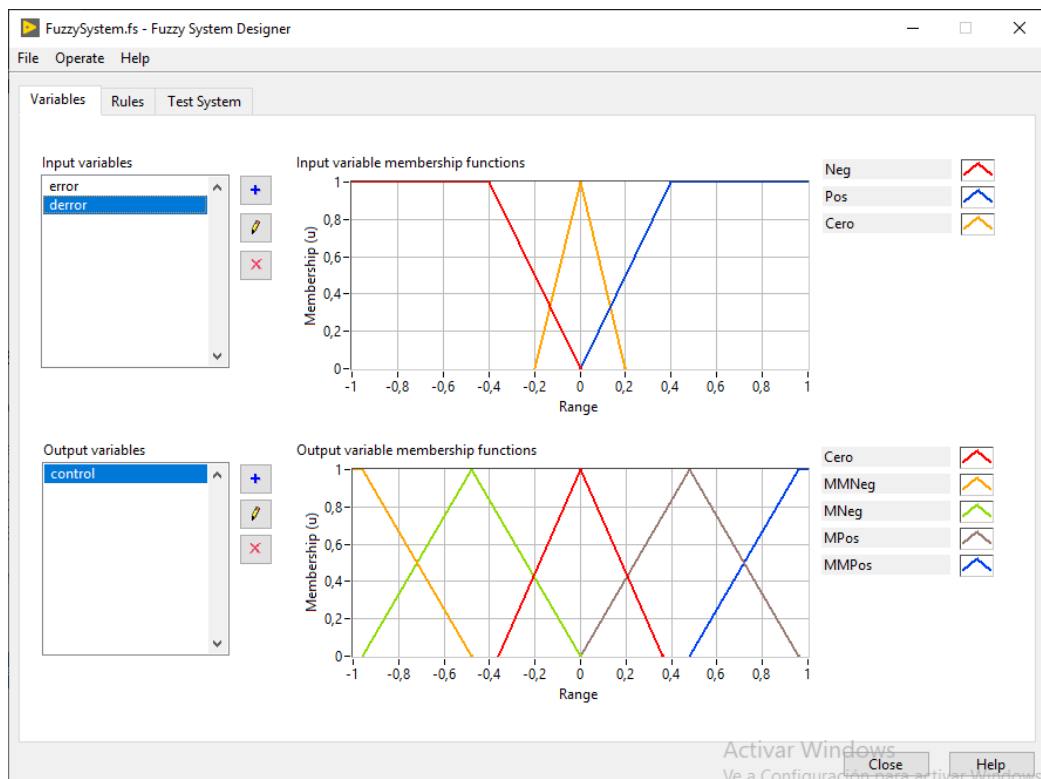


Figura 84. Reglas de pertenencia entrada dos (derror) y salida de control (%rpm) del sistema difuso

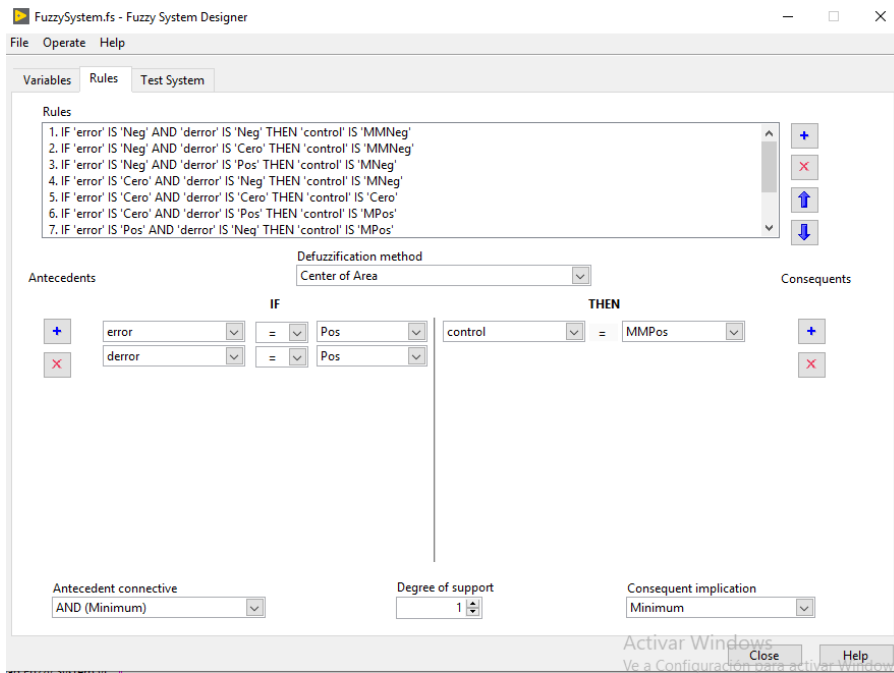


Figura 85. Ingreso de las reglas del sistema difuso

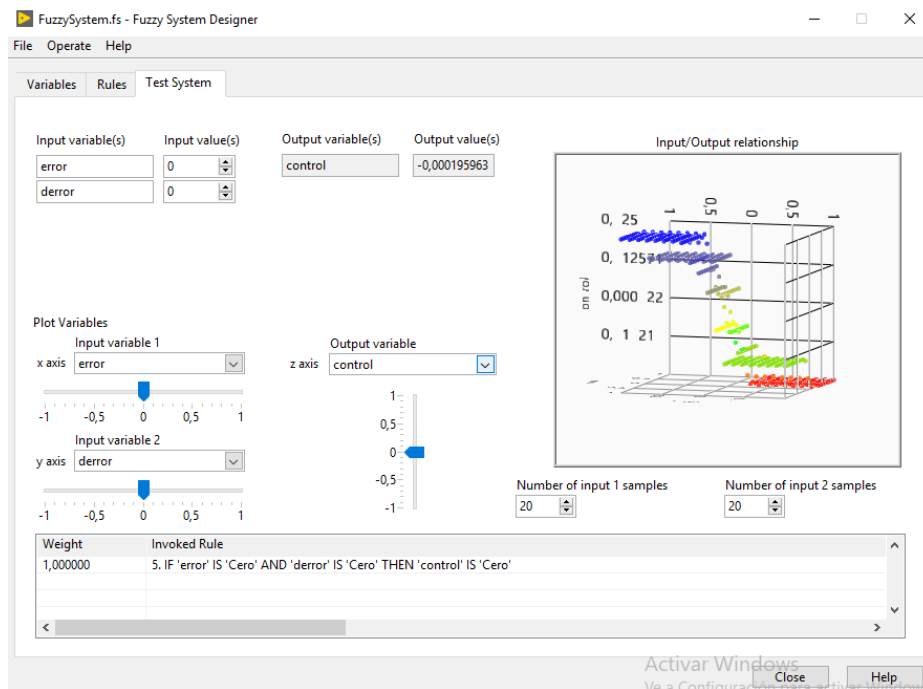




Figura 86. Visualización de la relación entradas vs salida.

N° Reglas	Reglas
1	If 'error' is 'Neg' AND 'derror' IS 'Neg' THEN 'control' IS 'MMNeg'
2	If 'error' is 'Neg' AND 'derror' IS 'Cero' THEN 'control' IS 'MMNeg'
3	If 'error' is 'Neg' AND 'derror' IS 'Pos' THEN 'control' IS 'MMNeg'
4	If 'error' is 'Cero' AND 'derror' IS 'Neg' THEN 'control' IS 'MMNeg'
5	If 'error' is 'Cero' AND 'derror' IS 'Cero' THEN 'control' IS 'Cero'
6	If 'error' is 'Cero' AND 'derror' IS 'Pos' THEN 'control' IS 'MPos'
7	If 'error' is 'Pos' AND 'derror' IS 'Neg' THEN 'control' IS 'MPos'
8	If 'error' is 'Pos' AND 'derror' IS 'Cero' THEN 'control' IS 'MMPos'
9	If 'error' is 'Pos' AND 'derror' IS 'Pos' THEN 'control' IS 'MMPos'

Tabla 9. Números de Reglas.

4. PRACTICA

	GUIA DE PRÁCTICA	
CARRERA: Ingeniería Electrónica	ASIGNATURA: Control Automático	
TÍTULO DE LA PRÁCTICA	Sistema Neutralizador en aguas Ácidas	

1. Objetivos

- Aprender a calibrar e implementar sensores de pH mediante la herramienta de LabVIEW.
- Desarrollar una aplicación en el software LabVIEW para conectar la bomba peristáltica al Industruino.
- Captar el proceso y control de una planta neutralizadora de pH en aguas residuales.
- Reconocer todos los elementos implementados en el proceso de la planta.

2. Planteamiento del problema.

- Utilizando el módulo que se encuentra en el laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil se desarrolla una aplicación en el software LabVIEW con la bomba peristáltica controlada para realizar la dosificación proporcionando una cantidad exacta de la base alcalina para lograr neutralizar el pH del agua que es el objetivo de esta planta; el diseño propuesto para la práctica se muestra en la figura 87.

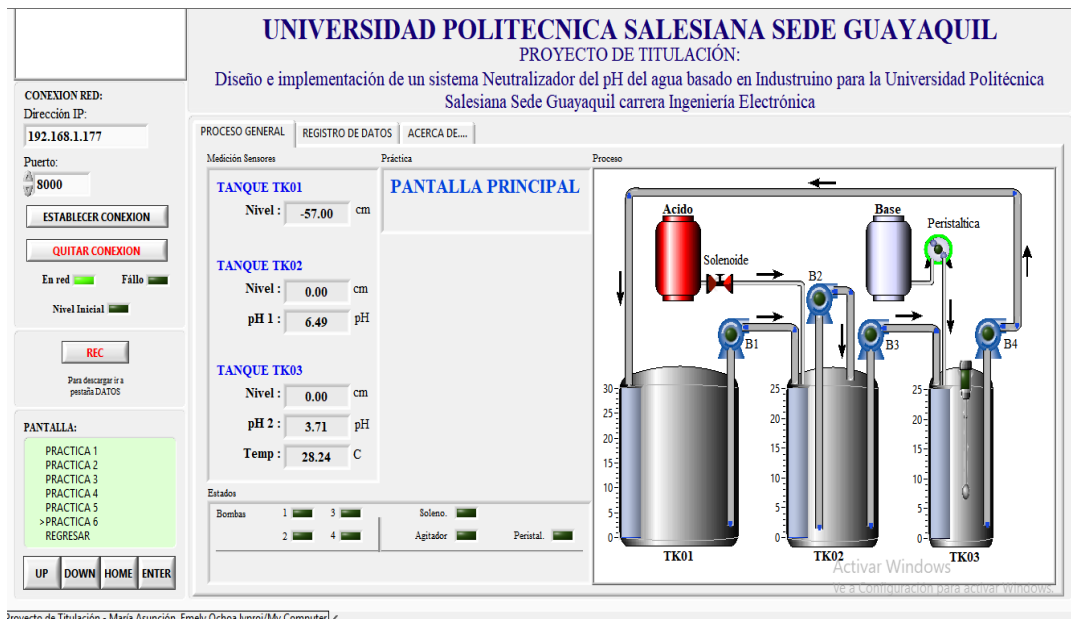


Figura 87. Interfaz de la practica 6

3. Instrucciones.

- Calibrar los sensores de pH.
- Asegurarse que el tanque 2 y 3 no contengan agua.
- Realizar el llenado del tanque 1 con el nivel de agua superior a 26 cm.
- Verificar los recipientes del ácido y la base que contengan la cantidad de químico a utilizar en el proceso.
- Revisar que todos los equipos estén bien conectados y funcionales.

Configurar la red del Mini Pc Intel para poder visualizar el proceso de la planta en el LCD.

5. RESULTADOS

- Se repotenció un módulo ubicado en el laboratorio de Tratamiento de Aguas Residuales de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil para obtener un mejor tiempo de respuesta en la neutralización del agua por medio de una bomba peristáltica controlada, contiene varias prácticas planteadas en el Industruino el cual se podrá visualizar su proceso en la pantalla que es una plataforma didáctica para el estudiante.
- Se planteó un modelo el cual facilitará al estudiante interactuar con el módulo ya que podrá visualizar tiempo de respuesta real de todos los

elementos tales como sensores y actuadores implementados por medio de la pantalla.

- Se logró la compilación de los programas que procesaron datos en el Industruino y mostraron los datos en red mediante el software LabVIEW y Arduino respectivamente.
- Se obtuvo un control óptimo mediante las pruebas realizadas con la implementación de un control PID difuso en el proceso de dosificación que realiza la bomba peristáltica.
- Se realizó la entrega del módulo completamente funcional, con químicos y calibradores para ser utilizado en las clases de control y que los estudiantes puedan comprender el proceso que realiza una planta de neutralización de pH en aguas residuales con distintos tipos de acidez.

5.1. Resultados del PID Difuso

En la primera prueba de control difuso en el tanque TK03 se ingresó un SetPoint de 5 en la escala de pH, los resultados tal y como se muestran en la figura 88, muestra la evolución del proceso en el pH inicial corresponde a 1.67 podemos observar la curva de estabilización y las revoluciones de la bomba peristáltica en el transcurso del tiempo. En la tabla 10 se observa las constantes difusas usadas y el porcentaje Overshooting que presenta el sistema con dichas constantes, las cuales fueron obtenidas por simulación.

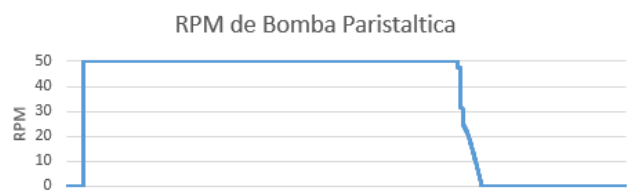
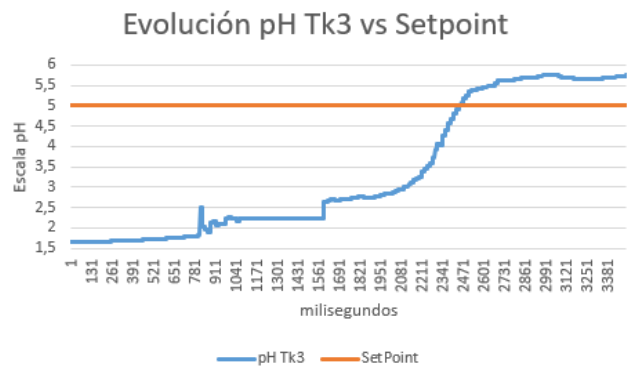


Figura 88. Evolución pH 5 del tanque TK03 Vs. SetPoint.

Tabla #10	
KP	0,01
KI	8,20E-06
KD	0,2
Overshooting	15%

Tabla 10. Valores que se obtuvo de la evolución de pH 5 en el tanque TK03.

Es de esperarse que haya una diferencia entre la simulación de la planta y los valores reales obtenidos en esta, por lo que se procede a editar ligeramente las constantes del PID Difuso a partir de sus valores previos de tal manera que la respuesta del sistema sea cercana a sus valores óptimos. En la figura 89 se observa la respuesta del sistema con las nuevas constantes, y se visualiza que el Overshooting se redujo de un 15% a un 4%, esta prueba fue realizada con un pH SetPoint de 7, empezando en un pH de 5,83. En la tabla 11 se visualizan las nuevas constantes difusas y el valor de Overshooting obtenido.

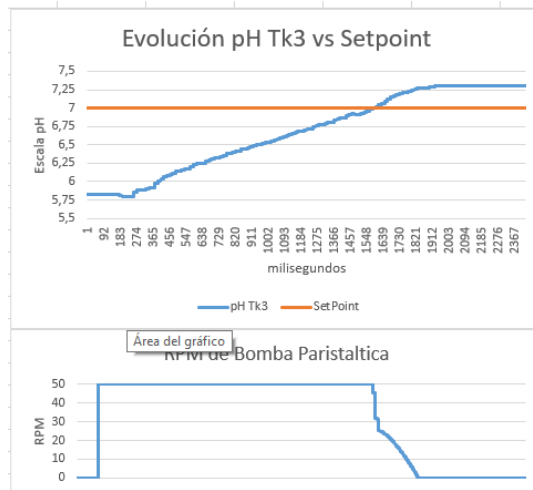


Figura 89. Evolución pH 7 del tanque TK03 Vs. SetPoint.

KP	0,01
KI	8,20E-06
KD	0,4
Overshooting	4%

Tabla 11. Valores que se obtuvo de la evolución de pH 7 en el tanque TK03.

En la figura 90 se observa la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW del control de pH mediante PID Difuso.

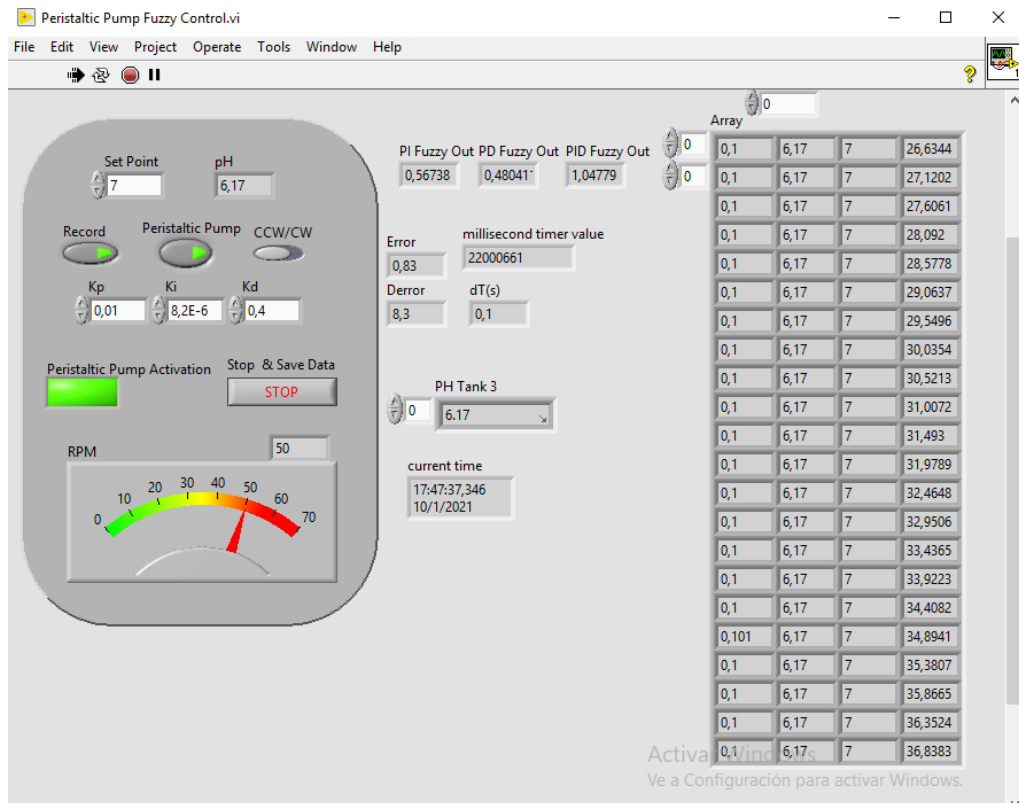


Figura 90. Adquisición de datos del PID Difuso

5.2. Resultados de la práctica

Para el desarrollo de la práctica seis se debe verificar el funcionamiento del módulo y ciertos puntos importantes, los cuales son:

- Realizar la práctica 1, consiste en calibrar correctamente los sensores de pH
- Asegurarse que los tanques TK01 y TK02 no contengan agua, caso contrario realizar una limpieza del agua de manera manual.
- Revisar el nivel del agua que debe ser superior a 26 cm en el tanque inicial TK01.
- Verificar el nivel de los químicos en sus respectivos recipientes.

Cuando se obtiene todos los puntos mencionados se ingresa a la interfaz de la planta para colocar la IP 192.168.1.177 y el puerto 8000 para establecer conexión con el Industruino como se puede visualizar en la figura 94.



Figura 91. Establecer Conexión.

Luego de establecer conexión desde el Scada se procede a seleccionar la practica 6 del menú, luego el Industruino solicita escoger el pH que puede ser acidez de 3, 4 o 5 como se observa en la figura 95 y 96.

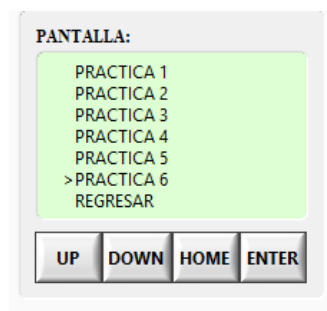


Figura 92. Selección de la práctica 6.

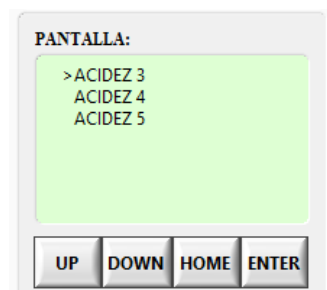


Figura 93. Selección del nivel de acidez.

Selección de todos los parámetros, inicia el proceso activando la bomba 1 como se visualiza en la figura 97 que permite trasladar el agua al reservorio

del tanque TK02, cuando alcance el nivel de operación se activa la bomba 2 para que recircule el agua del TK02 y a la par se activa la válvula solenoide o electroválvula, misma que inicia con el dosificado del ácido en el agua del tanque TK02 cuando el sensor de pH alcance al nivel de acidez indica que se activa la bomba 3 y empieza el llenado del tanque TK03.

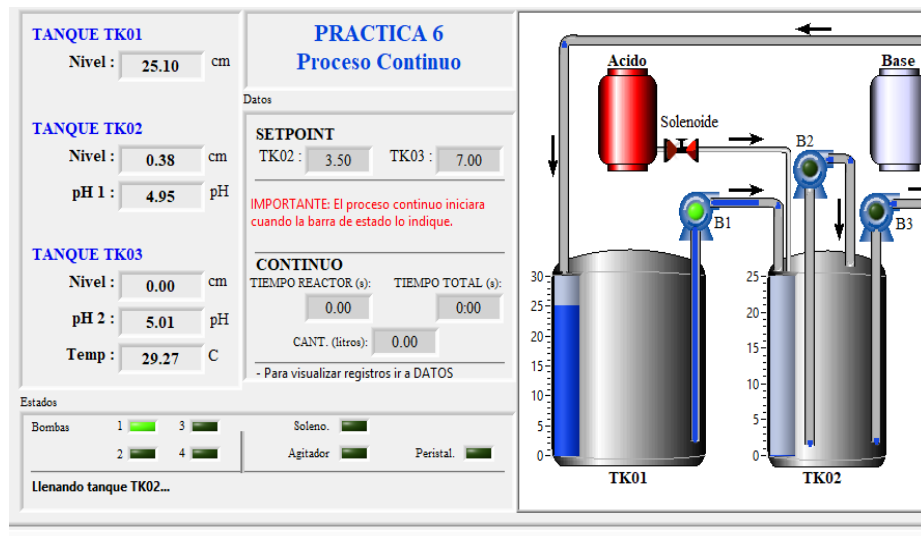


Figura 94. Bomba 1 encendida.

Cuando alcan el nivel adecuado del tanque TK03 se activa el agitador y la bomba peristáltica como se visualiza en la figura 98, y comienza la dosificación de la base alcalina hasta neutralizar el pH del agua que es igual al SetPoint (siete), este valor lo detectará el sensor de pH2 que se encuentra en el Tk03, permitiendo que se active la bomba 4 para transportar al reservorio de agua Tk01 el agua neutra como se visualiza en la figura 99, para empezar un proceso continuo.

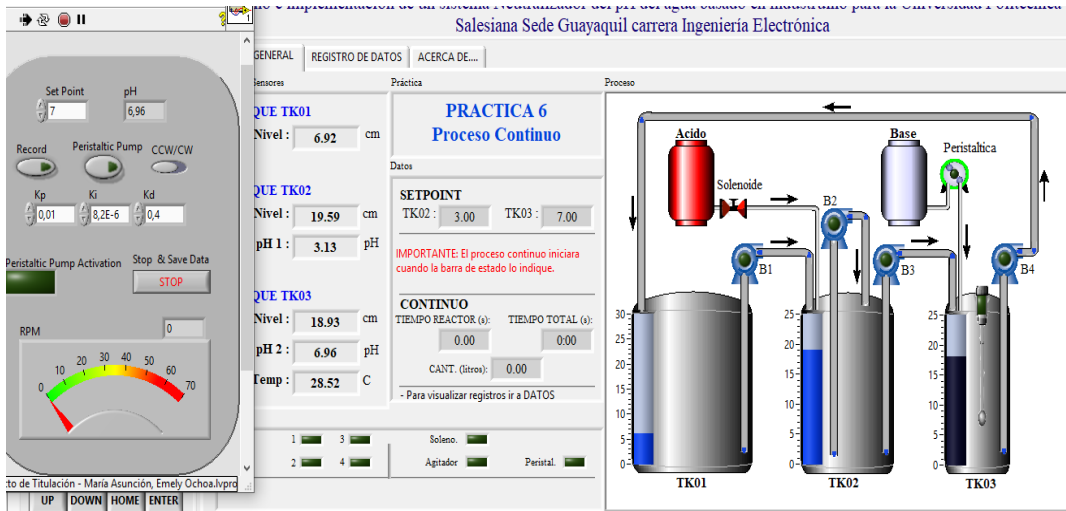


Figura 95. Dosificación de alcalino en el TK03.

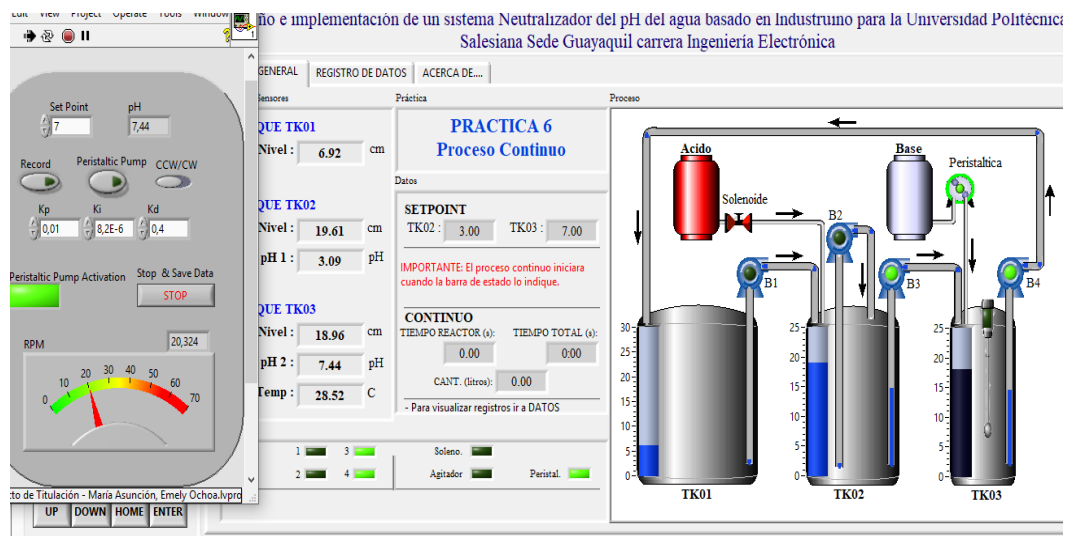


Figura 96. Activación de la bomba 4 para trasladar el agua neutra en el tanque reservorio TK01.

5.3. Análisis de los resultados

Se realizó una exposición virtual en la plataforma Zoom a los estudiantes de la carrera Electrónica Industrial de la Universidad Politécnica Salesiana, junto al docente se impartió el funcionamiento de la planta de neutralización de pH, posteriormente se realizó una encuesta a manera de retroalimentación sobre qué tan útil resultaría nuestra planta para los estudiantes, a continuación, se detalla en la tabla 10 la encuesta y en la figura 97.

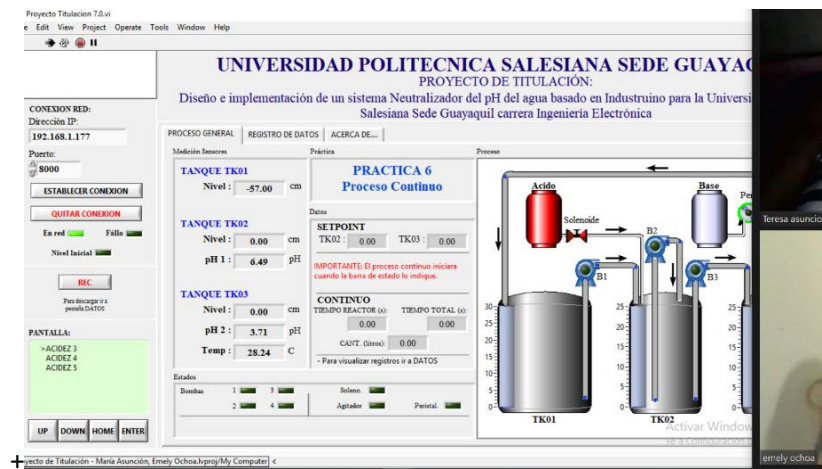


Figura 97. Demostración de las prácticas mediante Zoom.

1. ¿Qué le parece la integración de un PID Difuso para el aprendizaje?
Excelente
Buena
Regular
Mala
Muy Mala
2. Califique la repotenciación de la planta Neutralizador de pH
Excelente
Buena
Regular
Mala
Muy Mala
3. ¿Cómo considera la práctica mostrada?

Excelente
Buena
Regular
Mala
Muy Mala
4. ¿Qué opina acerca de la complejidad de la práctica mostrada implementando PID Difuso?
Excelente
Buena
Regular
Mala
Muy Mala
5. ¿Conocía Ud. como implementar un PID difuso?
Si
No
Tal vez

Tabla 12. Encuesta

Se evaluó la exposición a los estudiantes mediante una encuesta de Google fórum, tomando su punto de vista respecto a la integración que tiene el PID difuso para el aprendizaje donde los resultados se muestran en la figura 98.

¿Qué le parece la integración de un PID Difuso para el aprendizaje?

24 respuestas

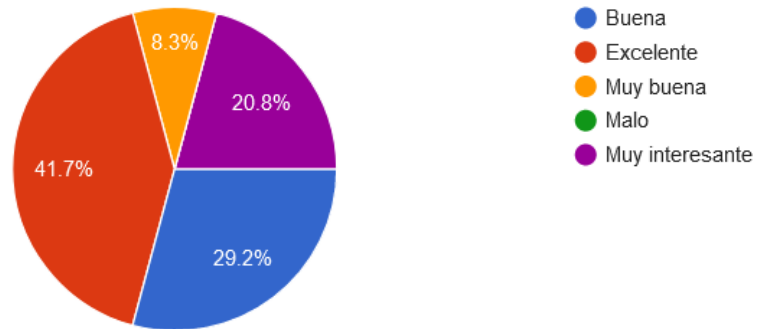


Figura 98. Se evaluó la integración de un control PID Difuso para el aprendizaje a los estudiantes.

Se evaluó la exposición a los estudiantes mediante una encuesta de Google fórum, tomando su punto de vista respecto a futuras repotenciaciones de plantas donde los resultados se muestran en la figura 99.

Califique la repotenciación de la planta Neutralizador de Ph

24 respuestas

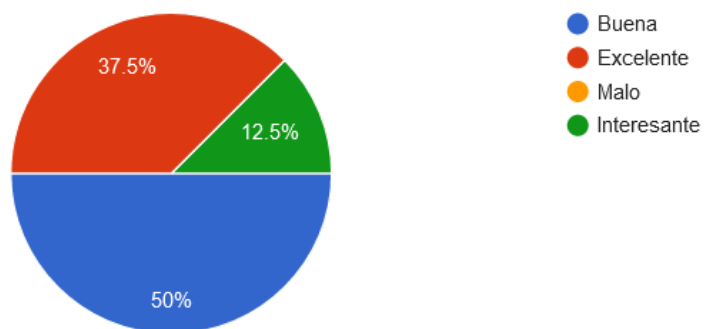


Figura 99. Se evaluó la repotenciación de la planta neutralizador de pH.

Se evaluó la exposición a los estudiantes mediante una encuesta de Google fórum, tomando su punto de vista respecto a la práctica mostrada si fue excelente, muy buena, regular o mala, donde los resultados se muestran en la figura 100.

¿Cómo considera la práctica mostrada ?

24 respuestas

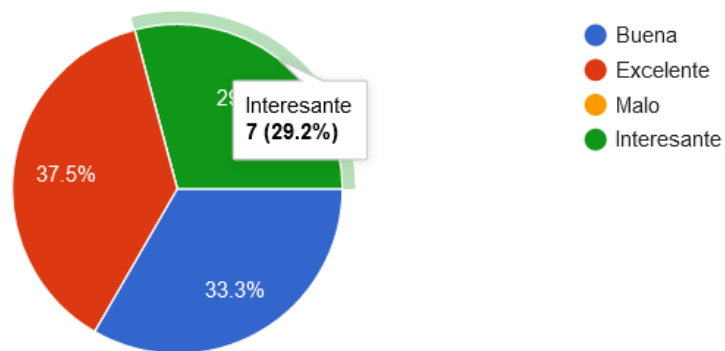


Figura 100. Se evaluó como consideran la practica mostrada los estudiantes.

Se evaluó la exposición a los estudiantes mediante una encuesta de Google fórum, tomando su punto de vista respecto a la complejidad de la práctica mostradas implementando PID difuso teniendo como opción excelente, muy buena, regular o mala, donde los resultados se muestran en la figura 101.

¿Qué opina acerca de la complejidad de la práctica mostrada implementando PID Difuso?

24 respuestas

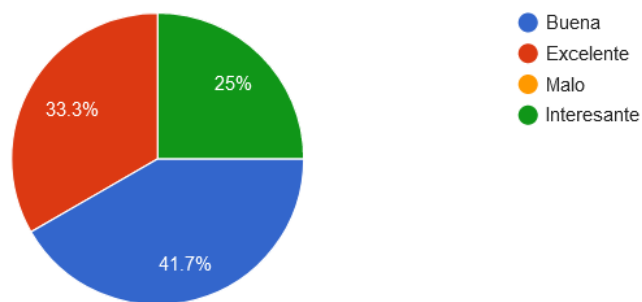


Figura 101. Se evaluó la complejidad de la práctica implementando el PID Difuso a los estudiantes.

Se evaluó la exposición a los estudiantes mediante una encuesta de Google fórum, para conocer si los estudiantes saben cómo implementar un PID difuso en una determinada planta, donde los resultados se muestran en la figura 102.

¿Conocía ud. como implementar un PID difuso ?

24 respuestas

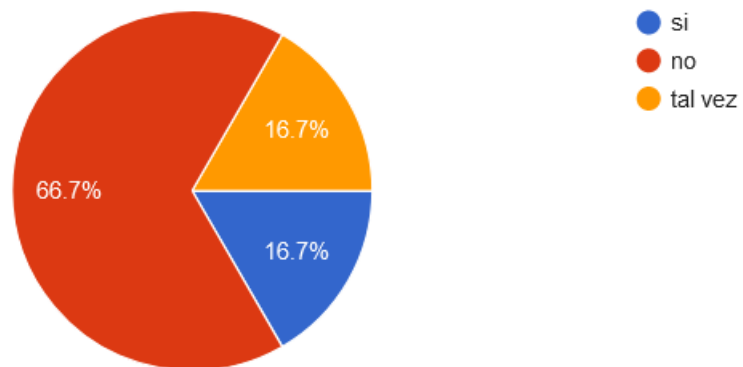


Figura 102. Se evaluó como implementar un PID Difuso.

CONCLUSIONES

Se diseñó un control PID difuso para la planta de neutralización de pH que mediante una bomba peristáltica nos permitió controlar su valor en el tanque TK03 mediante una interfaz gráfica diseñada en el software LabVIEW.

Control y monitoreo de la planta a través de interfaz gráfica mostrada en una pantalla TFT LCD, utilizando una mini PC donde procesa los datos y controla la planta, agregando la ventaja de poder ser operada en sitio sin necesidad de hardware adicional.

A pesar de que todas las prácticas fueron efectivizadas sin mayor problema, se evidencia que la capacidad de procesamiento del Industruino se encuentra prácticamente en su límite, esto debido a la complejidad del sistema y a la carga que implica este.

Se pudo evidenciar que el software en el Industruino ya no permite instalar más contenido por que el espacio de memoria, las salidas y la capacidad de procesamiento se acercan al límite de este.

Al desarrollar el proyecto se logra constatar las ventajas al momento de utilizar un control PID difuso para un sistema neutralizador de pH en aguas ácidas,

implementando reglas basadas en la experiencia que fueron aplicadas para controlar el sistema.

Utilizando Matlab2013b con sus herramientas ident y simulink obtuvimos la función de transferencia de la planta, generando datos donde podemos visualizar la señal y el efecto de salida, obteniendo un 90.77 % de semejanza de la función de transferencia con los datos reales, dicha función consta de 5 polos y 0 ceros en su estructura.

Se evidenció una diferencia entre los datos simulados y los datos en la planta real, esto puede deberse al porcentaje de afinidad en la función de transferencia usada, a la precisión o redondeo de valores numéricos, entre otros factores.

Si bien existe diferencia entre sistemas simulados y su comportamiento real, la simulación de estos sistemas es una ventaja para los ingenieros que deseen desarrollar sistemas de control por su ahorro en tiempo, materiales, energía y otros factores en comparación a las simulaciones por computadora, también presentan una guía confiable a la hora de decidir sobre las constantes de control u otros detalles que impliquen su control o automatización.

Se implementó un sistema difuso basado en reglas diseñadas para un sistema PD con 2 entradas y una salida, adaptándolo en una configuración que nos permitió la aplicación del sistema difuso PID.

RECOMENDACIONES

Una vez concluida la presente tesis, se considera las siguientes recomendaciones:

1.- Antes de que la planta haga el proceso se debe tomar en cuenta los respectivos niveles de líquidos en este caso son el agua, el ácido y la base alcalina.

- En el tanque (TK01) el nivel del agua debe ser mayor a 26 cm según lo establecido, en caso de no contener agua presenta error en la pantalla indicando que no es el nivel adecuado para empezar el proceso.
- En el envase se debe colocar el ácido (puro) hasta llenar lo suficiente para realizar las prácticas.
- En el envase de la base alcalina, según prácticas realizadas de prueba y error se debe mezclar en un recipiente 1/16 de base alcalino, 15/16 de agua y se coloca en su respectivo envase, para la medida, se utiliza un vaso plástico de 200 CC (se debe colocar esta cantidad por el volumen del tanque reactor (TK03), ya que si se lo coloca puro esta manda al agua a su máximo indicador de pH =12).

2.- Se debe verificar que cada uno de los equipos estén en buen estado con la opción (estado de equipos).

3.- Con respecto al funcionamiento de la bomba peristáltica y sensores es necesario que previamente se tenga una capacitación sobre el uso y manejo del control.

4.- Calibrar los sensores de pH y también tener en cuenta las configuraciones de los equipos.

5.- Para recomendaciones futuras, se debe tomar en cuenta la limitante de capacidad del industruino, y presentar la opción de reemplazar el industruino por un controlador de mayor capacidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Area tecnologia. (2017). *Areatecnologia*. Obtenido de Areatecnologia:
<https://www.areatecnologia.com/electronica/triac.html>
- BANGGOOD. (2006). Obtenido de https://es.banggood.com/775-Motor-DC-12V-10000rpm-Motor-Double-Ball-Bearings-150W-Large-Torque-High-Power-Motor-p-1233434.html?cur_warehouse=CN
- Bremeksac. (2018). *Grupo bremek*. Obtenido de Trolley Eléctrico 0.5t – 10t:
<https://bremeksac.com/producto/tecles/trolley/trolleys-electricos/trolley-electrico-0-5-t-10-t/>
- Caballero, D. C. (2017). *Cómo usar un sensor de pH con Arduino – Scidle*. Obtenido de Scidle:
<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>
- Cavallero, D. C. (2017). *Cómo usar un sensor de pH con Arduino – Scidle*. Obtenido de
<https://scidle.com/es/como-usar-un-sensor-de-ph-con-arduino/>
- CENAM. (2018). *Centro Nacional de Metrología de México (CENAM)*. Obtenido de
http://rcm.gov.co/images/2016/docs/Julie_Galindo_2016-07-15.pdf
- Cobo, J. G. (2015). *HWlibreWeb*. Obtenido de <https://www.hwlibre.com/industruino-una-placa-arduino-para-la-industria/>
- Debem. (2019). *Funcionamiento de la bomba peristáltica*. Obtenido de
<https://www.debem.com/es/funcionamiento-bomba-peristaltica/>
- EICOS. (2020). *EICOS SENSORES*. Obtenido de <https://www.eicos.com/datos-tecnicos/que-es-un-sensor-de-flujo/>
- emb. (Noviembre de 2014). *emb.cl*. Obtenido de Cdt-casa del teclé:
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2423&srch=fabelec&act=3>
- geekbotelectronics. (2020). Obtenido de <http://www.geekbotelectronics.com/motores-de-dc/>
- Intel. (2020). *Intel® NUC: Mini PC de factor de forma pequeño*. Obtenido de
<https://www.intel.la/content/www/xl/es/products/boards-kits/nuc.html>
- Jolly, A. (2016). Obtenido de <http://www.ajolly.com.mx/es/desarrollo-consulta-sistema-supervisor-control-prueba-medida/19-LabVIEW-que-es.html>
- Lajara Vizcaíno, J., & Pelegrí Sebastiá, J. (2011). *LabVIEW: Entorno gráfico de programación*. Marcombo.
- Lee, T. (2020). *¿Qué es un inverter de LCD?* Obtenido de https://techlandia.com/mejor-tft-lcd-hechos_371710/

maxelectronica. (2018). *maxelectronica*. Obtenido de <https://maxelectronica.cl/prototipo/328-electrovalvula-solenoid-12vdc-12-pulgada-normalmente-cerrada.html>

Naylampmechatronics. (2019). *sensores proximidad* . Obtenido de <https://naylampmechatronics.com/sensores-proximidad/10-sensor-ultrasonido-hc-sr04.html>

Ni. (2019). *Labview*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>

Ni. (2019). *USB-6009*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/support/model.usb-6009.html>

Ogata, K. (1970). *Ingeniería de control moderna*. Obtenido de Naylampmechatronics: https://naylampmechatronics.com/blog/23_TUTORIAL-ARDUINO-Y-LABVIEW.html

Omega. (2003). *Sensores de nivel*. Obtenido de <https://es.omega.com/prodinfo/sondas-de-nivel-medicion.html>

Pardo, C. (2020). *Controlador PID - Control Automático - Picuino*. Obtenido de <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>

Pardo, C. (2020). *Controlador PID - Control Automático - Picuino*. Obtenido de <https://www.picuino.com/es/arduprog/control-pid.html>

QUIMICAS.NET. (2006). Obtenido de <https://www.quimicas.net/2015/11/ejemplos-de-soluciones-amortiguadoras.html>

Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Mexico: Editorial Reberte S.A.

Requez, J. P. (2017). *acapmi*. Obtenido de <http://acapmi.com/blog/2017/09/18/que-es-matlab/>

Siskind, C. S. (1963). *Electrical Control Systems in Industry*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Smith, J. C. (2003). *Operaciones básicas de ingeniería química, volumen1*. Reverte SA. Obtenido de http://www.informaticamoderna.com/Camara_IP_Ina.htm

Srcl. (2019). *Que es un sensor pt100*. Obtenido de <https://srcl.com/que-es-un-sensor-pt100/>

Tcmetrologia. (30 de Junio de 2014). *Tcmetrologia*. Obtenido de Tcm: <https://www.tcmetrologia.com/blog/calibracion-de-equipos-isotermos/>

TOSTATRONIC. (2019). *TOSTATRONIC*. Obtenido de <https://tostatronic.com/store/es/sensores/686-sensor-de-flujo-de-agua-34.html>

WORDPRESS. (2003). Obtenido de <https://miseptiembrerojo.wordpress.com/2018/01/29/que-es-el-potencial-hidrogeno-ph/>

ANEXOS

Anexo 1 Planos en AutoCAD del Prototipo

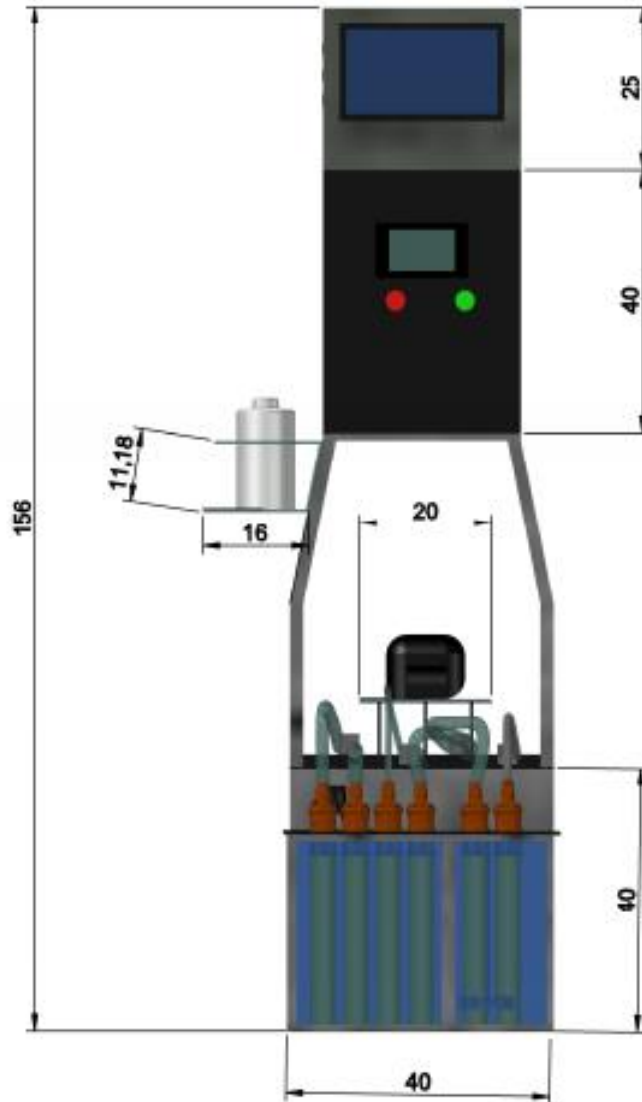


FIGURA 103. Vista frontal del módulo (acotado)

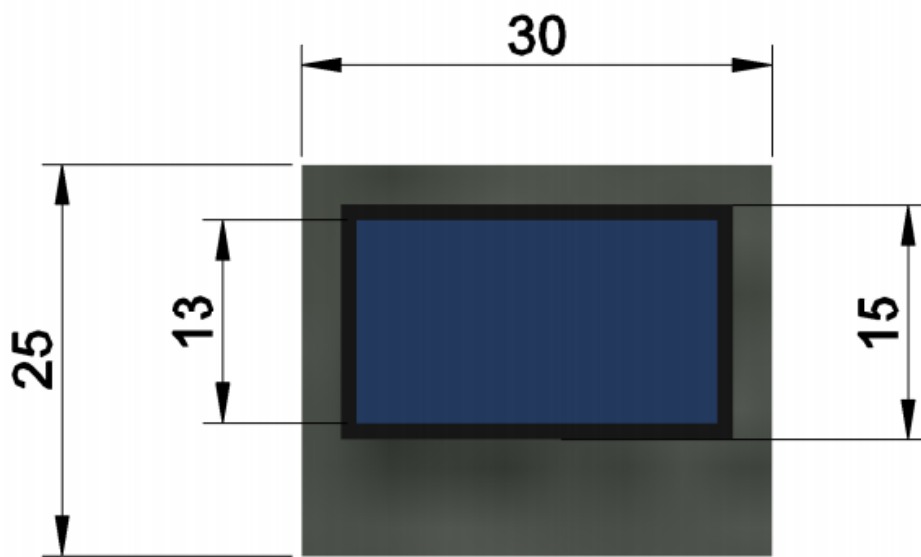


FIGURA 104. Tablero y Pantalla (Acotado)

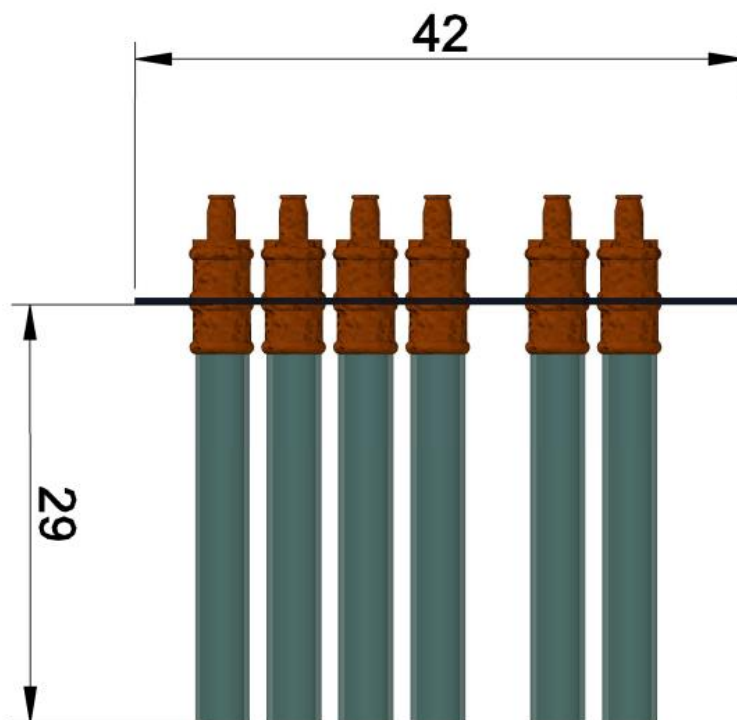


FIGURA 105. Diseño de Tuberías (Acotado)

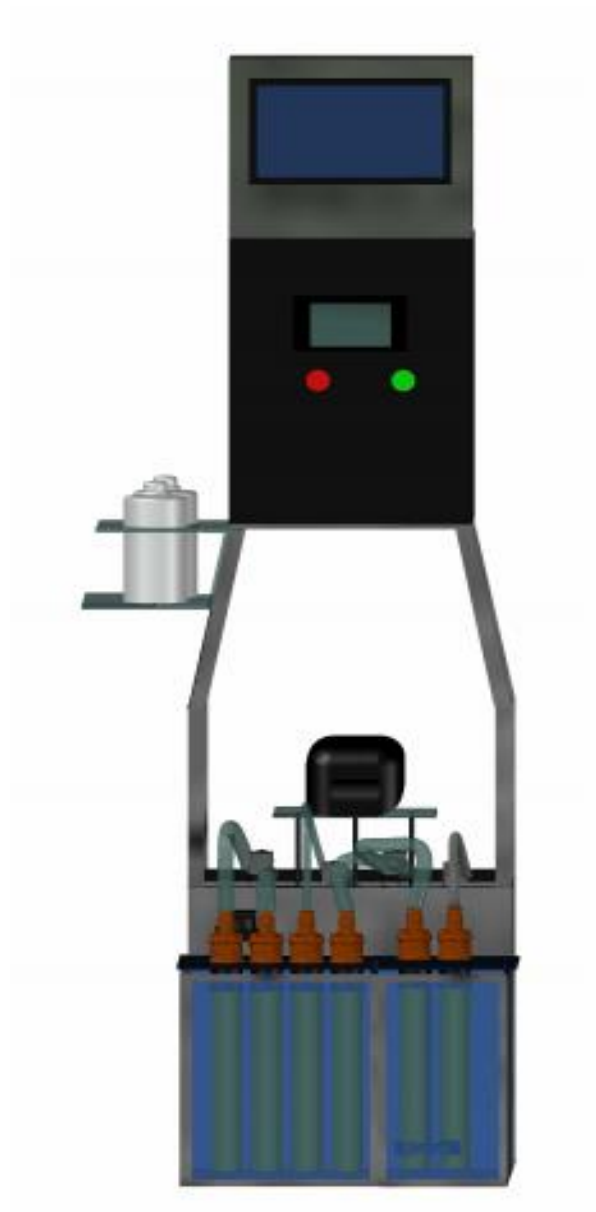


FIGURA 106. Vista frontal del módulo



FIGURA 107. Vista Lateral izquierda del módulo



Figura 108. Vista trasera del módulo

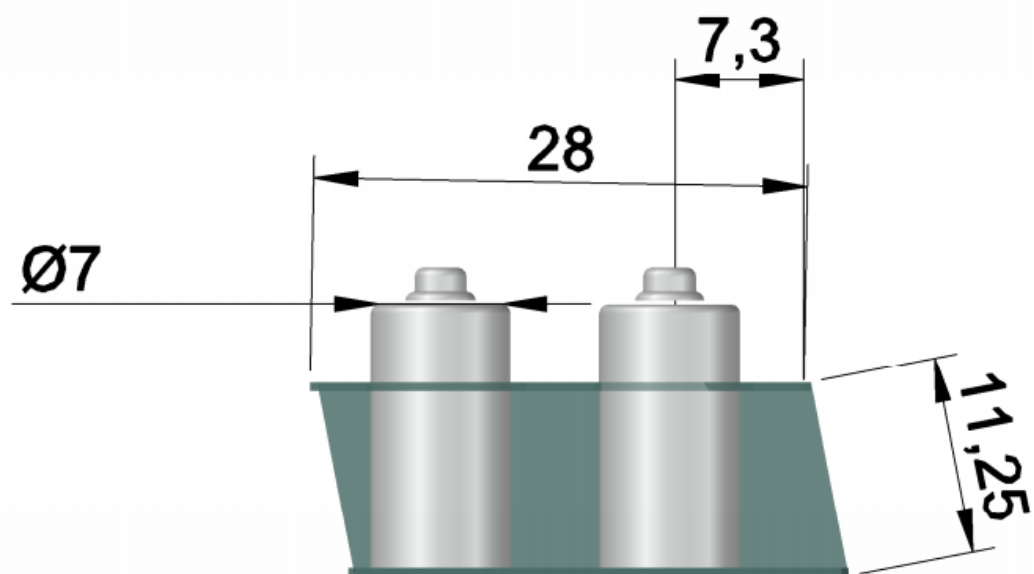


Figura 109. Porta Químico (Acotado)

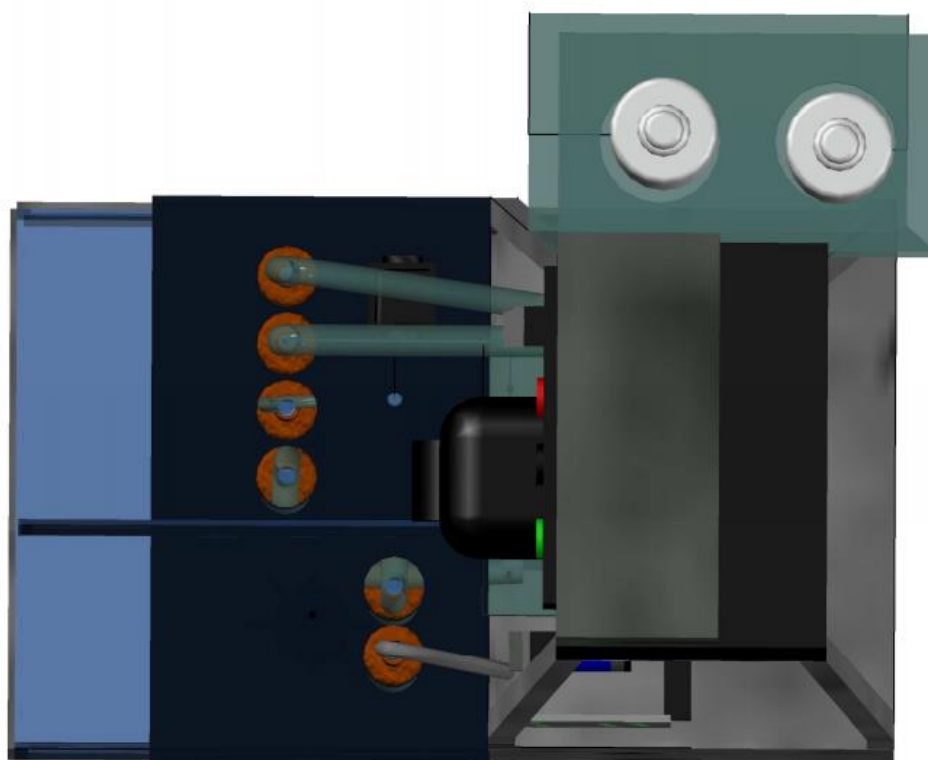
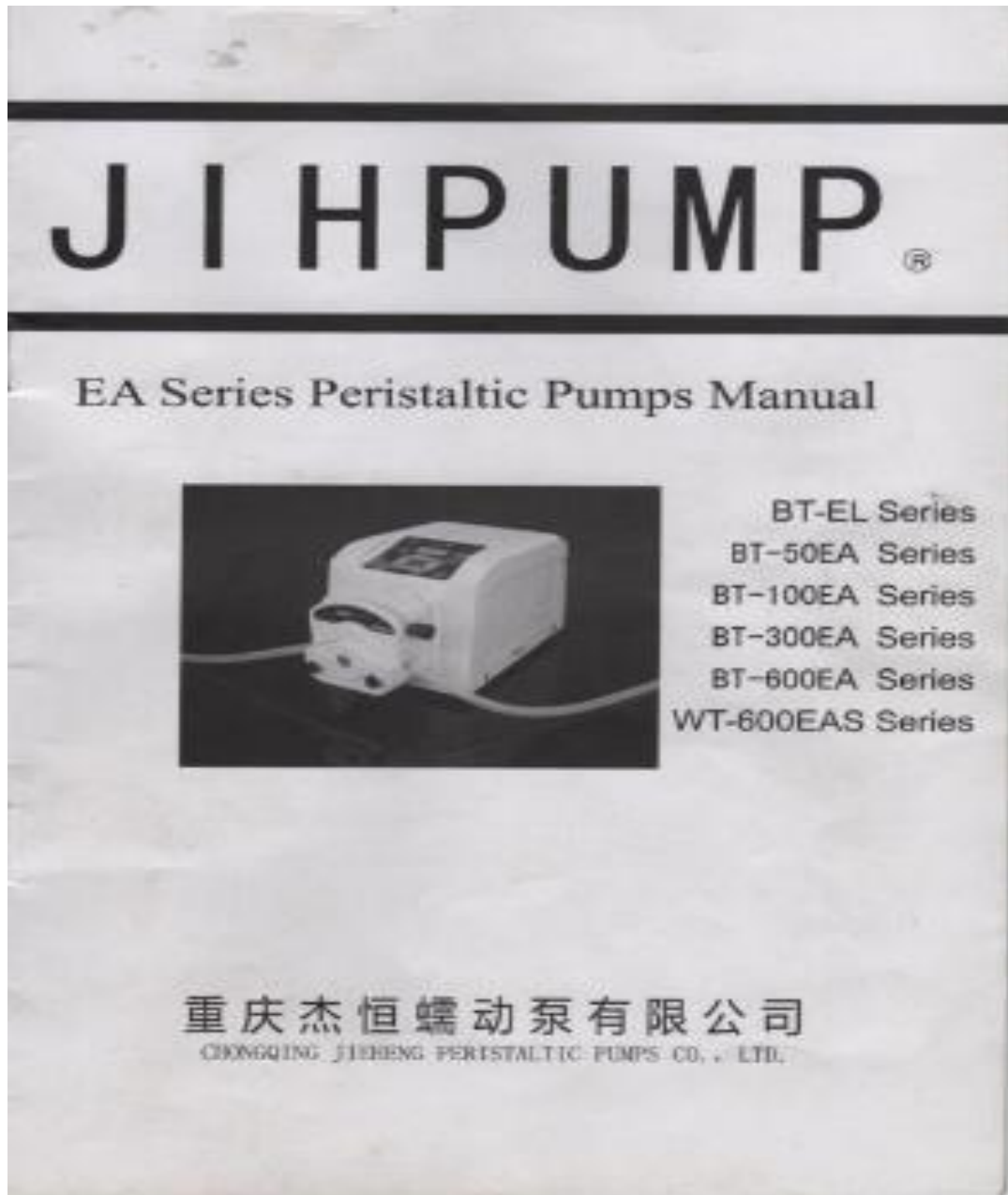


Figura 110. Vista Superior del módulo

Anexo 2 Manual Bomba Peristáltica



CONTENTS

1, Security.....	1
2, Introduction.....	2-3
3, Suitable pump head.....	4
4, Specification.....	5
5, Installation.....	6
6, Operation manu.....	7
7, Usage and operation.....	8-11
8, Setting Guide.....	12
9, Maintenance.....	13
10, Service	14
11, Package	15

1, Security



Please read this manual carefully before use!

- To avoid causing fires or electric shock please do not use this product outdoor or in wet environment.
- To reduce the risk of electric shock or possibility damage to the machine, please use ground the 3 hole AC220V socket.
- Install 220V AC power cord into the socket at the back of pump,then power on.
- Don't place heavy objects on the pump or allow the liquid flow into this machine.
- Don't cover the pump vents.
- When power on, parts of the electrical components is in working condition, so please turn off the power switch after shutdown. If not use in long time,unplug the power cord.
- Tube is the only consumables. Cracks due to wear hose maycause the liquid to overflow from the tube,and it may harm human's body or equipment. It depends on your understanding and control of the pump liquid,no legal causal relationship with the products!

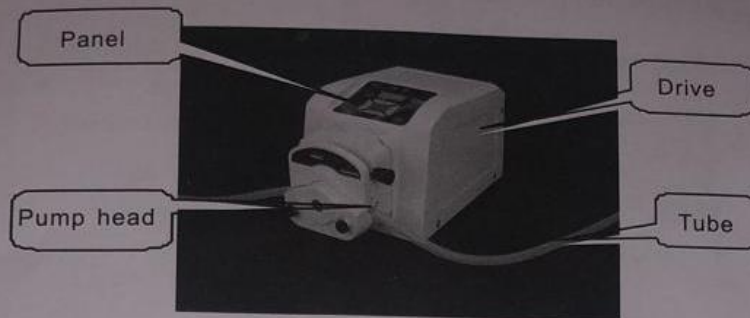
2,Introduction

Peristaltic pump, also named hose pump or current pump, is a new type of industrial used pump, and widely used in pharmaceutical, food, chemical, environmental, laboratory and other industries, it can transfer with sensitive, viscous, corrosive, grinding sheared, high purity requirements, and contain particulate matter dielectric material.

As a volume of hose pump, the flow rate range is between 0.15ml/min~50m³/h, its flow and speed is a constant linear relationship, i.e., the rotational speed of the drive means corresponding to the output flow of a certain value. As these pump is limited to the structure and materials, the pump speed is not too high, pressure also not high, usually in 2-4ba, therefore, depending on the process requirements, different software configuration tube is particularly important.

Peristaltic pump pumped fluid only through high flexible hose, so not leak and pollute surrounding environment, in line with pharmaceutical production "GMP" and food production "FDA" standards.

BT-EA series peristaltic pump used chip-driven technology, LED display the speed, it's simple operation, stable performance, can save the input parameters. Smallest 0.1rpm



Introduction

DGx,153Yx,253Yx,DGX pump heads are suit for EA series.The flow rate from 0.001-3000ml/min,and speed can be adjusted manually or automatically through external control interface.Store the running parameter automatically.

Drive+pump head +tube consists a peristaltic pump.Drives provide power and external control function.Pump head is key component,function to chuck hose. Only the hose member contact with the liquid.

Advantages of peristaltic pump:

High purity pollution:liquid only contacts the ho-se, easy to clean, replace hose just need a few sceond.

Efficient:with self-priming, check valve capacity.

High precision:dispensing 1% and reproducibility of 0.5%

Low cut:pumpable shear sensitive liquids and organic solvents,solids conveying fluid.

Low maintenance:Quick plug,no valves and seals.

Easy control :timing,speed and filling pumping.

3, Suitable pump head

Pump head	Tube (ID×Thickness)	Flow rate(ml/min)
-----------	---------------------	-------------------



DG Series

1. 02*0.86
2. 79*0.86

Single channel
0.001-45



153Yx-PSU

14#(1.6*1.6)
16#(3.1*1.6)
25#(4.8*1.6)
17#(6.4*1.6)
18#(7.9*1.6)

Single channel
0.001-2280



253Yx-PPS

15#(4.8*2.4)
24#(6.4*2.4)
35#(7.9*2.4)
36#(9.6*2.4)

Single channel
0.001-3000



DGX

14#(1.6*1.6)
16#(3.2*1.6)
25#(4.8*1.6)

Single channel
0.001-593

5, Specification

50 RPM / 253Yx / 36#

① Pump head

≡ max 0,193 L/min

Model	Tube	Max flow rate (ml/min)			
		✓50r	100r	300r	600r
DG	1×1 2×1 3×1	3.5	7	22	45
153Yx	14# 16# 25# 17# 18#	190	380	1140	2280
✓253Yx	15# 24# 35# 36#	193	386	1170	3000
DGX	14# 16# 25#	\	\	430	593

② Drive

Item	50rpm	100rpm	300rpm	600rpm
Speed range	0.1-50r	0.1-100r	0.1-300r	0.1-600r
Max speed	50r	100r	300r	600r
Velocity	0.1rpm			
Suck vacuum	0.27MPA			
Discharge pressure	0.27MPA			
Control mode	Membrane keys			
Function	Manual control,external control,appointment time			
External control	0-5V,0-10V,4-20mA,RS485			
Display	LED digital			
Power	Ac 220V±10%,50Hz/60Hz(Standard)			
Consumed power	<18W	<36W	<54W	
Work condition	Temperature 0~40°C,relative humidity <85%			
Drive dismension	L210*W150*H150			
Drive weight	2.6Kg	3.0Kg	3.6Kg	
Protection class	IP31			
Suitable pump head	DG,153Yx,253Yx,DGX			

6, Installation

① Pump Head Installation

The pump head is mounted on drive with 2 special screws (M4), (If you used in two channels, need longer screw) . Insert the M4 screws into the mounting holes of the pump head, then tighten the mounting screws to connecting hole of drive.

Note:1,the installation is slightly different for different head.

2,the pump head is installed at the factory on the drive,only in case of cleaning or replace tube that to disassembly of the pump head,and installation as the steps above.

3, Try to guarantee the same degree of the two M4 screws tight when tighten the screw,and not too tight to prevent deformation of the head noise.



Picture 1

Picture 2

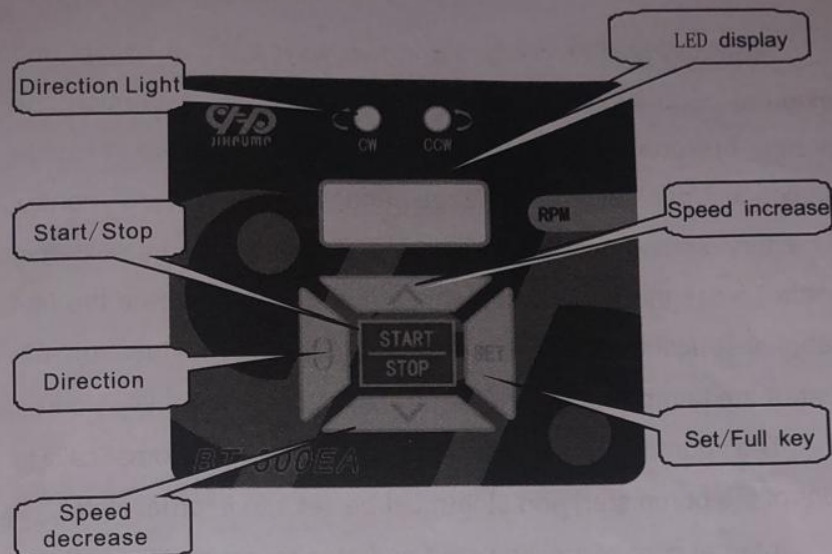
Picture 3

Lift the clamp, put the tube into the pump head, straighten the hose, press the bar

② Hose installation (Different head installed in different way)

Rotating the rod to rise the briquette (Figure 2), put the hose into the gap between the briquette and lower support, then straightening the hose (Figure 3), then pull the briquetting in the opposite direction. Note: the card adapter is spring free on both sides of the head, when installed the card, you can slide card freely.

③ Operation Menu



Control Panel Diagram

Start/stop key: General as running command key, in setting state as confirm key.

Direction key: change the direction in run or standby state.

Speed increase key: improve the speed in running, in settings to option key.

Speed decrease key: reduce the speed in running, in settings to option key.

设置键：待机状态下进入设置，适用于间隙运转的设定、灌装设定、定时设定，外控设定，以及脚踏开关的设定。

④ Function

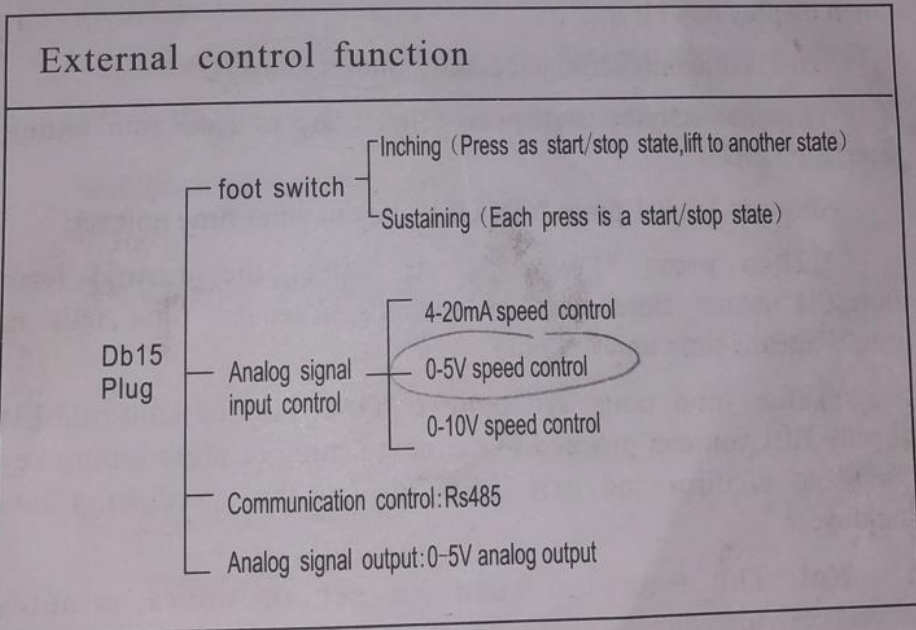
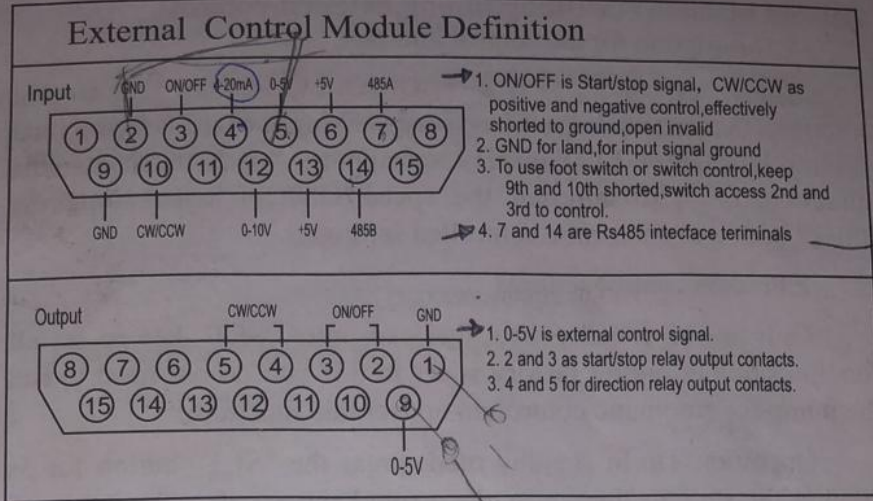
You can control this pump in two ways: internal control and external control. Internal control means operate it through the pump buttons; external control means you can provide analog communication interfaces and foot switch to control it. Factory setting for internal control. If you want to use external control, press the set key in standby mode to setting (See the fifth setup instructions), access the standard Db15 interface on the rear of the pump. (For internal control, setting in "close" will work)

The pump can identify the foot switch automatically, to control the pump start and stop (must be set into internal state).

Internal control function: start and stop, reversing, lifting speed

External control: accept analog signal to adjust the speed, start and stop, direction, pin defined as below:

Comunicado com RS485



⑤ Set manual(For filling,timing,external control)

1,Description for the control interface

There are "↑","↓" "↶↷", "ON/OFF", "SET" in the control interface(Increase speed,reduce speed,steering switch,start/stop,time setting).In case of LED display speed,press "↶↷"to change the direction,"↑" "↓"to adjusted the speed,"ON/OFF" start/stop,press "SET" button to enter time controlled settings.

2,Process control settings

Only in the standby state that can press "SET" key to set all functions,before outing factory is set to 0.If you do not need to run the pump for automatic control,do not set this function:

Operation Tip:In standby mode,press the "SET" button for 3s to enter the settings,then press the arrow keys to select the item you want to set, to be set,press the start/stop key to enter the setup data,and then start and sstop key to cnfirm,withdraw at any time when display any H!

H01:Time unit setting(seconds,minutes,hours)

1),In the standby state,press "SET" key to enter into setting interface,LED

Show code H01,press "ON/OFF" key to enter time unit set;

2)Then press "↑" or "↓" to select the desired time unites("1"means time unit in seconds,"2"means time unit in min,"3"means time unit in hour)

3),after time units setted,press "ON/OFF" to confirm,LED display H01,you can proceed to the next setting,or press setting key "SET" to confirm and exit ,LED display the speed,pump into standby.

Note:The time unit can be set in hours minutes seconds,calculated in accordance seconds.

H02:Run time setting

Set way as above

H03:Stop(interval) time setting

H04:Run times setting H05:set clear parameters

Press"↑"key,when LED displayed code H05,press "ON/OFF" to enter the parameter setting clear,LED will displayed "-88-",means has been cleared;

H06:Speed setting

The default speed is the maximum speed.

H07:Enable external control settings

1:Inner control

2:Exter control

H08:Slave address

0-30,pump identification(communicatin with,generally not set)

H09:Foot switch

1:Sustaining(as a start and stop time for each depressed state)

2: Inching(Press is a start/stop state,release is another state)

H10:Suck-back angle settings

0-360°

H11:External control type

1—0-5V

2—0-10V

3—4-20Ma

0—Modbus protocol

H12:Power Run

Tips:without setting external control fto switch,two operation mode in optional:sustaining or inching.

Setting Guide

Code	Item	Figure	Means	Notes
H-01	Time unit	1	Second	
		2	Minute	
		3	Hour	
H-02	Boot time	0-59	Second	Data combined into second
		0-59	Minute	
		0-23	Hour	
H-03	Stop time	0-59	Second	Data combined into second
		0-59	Minute	
		0-23	Hour	
H-04	Run qty	0-9999	Frequency	
H-05	Clear date	-88-		Clear all items
H-06	Max speed	0.0-600.0	rpm/min	
H-07	External control is enables	1	Inter-control	Foot switch is also inter-control
		2	Exter-control	
H-08	Slave address	0-30		Choose the type in H11
H-09	Foot switch	1	Sustaining	
		2	Inching	
H-10	Suck-back angle	0-360	Degree	
H-11	External control type	1	0-5V	Confirm H07 option to "2"
		2	0-10V	
		3	4-20mA	
		0	MODBUS	
H-12	Power on state	1	Standby power	Invalid timing mode
		2	Run on power	

7, Maintenance

1, Before operate the peristaltic pump, please check the hose carefully every time, and before stop running, pumping water to cleaning the hose. In order to extend the service life of the hose, especially when operated more than 8 hours, should hose outwardly (suction side) pull 80-100mm, to prevent the hose damaged due to excessive wear or bending of the hose.

2, The silicone hose impatience acids, alkalis, organic solvents. Before use, you'd best to use a short hose immersed in the test solution.

3, Regular checks of the silicone hose that squeezed and prevent aging and damaged, to avoid liquid flow in the pump head or motor.

4, Keep the roll-tank clean, as the wheel is rolling friction.

5, The peristaltic pump used special high elastic silicone hoses. For pumping acids, alkalis, organic solvents or long-life hose, please contact JIHPUMP.

9, Service

JIHPUMP's service is not stopped after saleing,all products suppling with "one year warranty and lifetime maintenance".And in the same time providing humane sales tracking,technical support and other services to ensure your convenience,pleasant to use in the hands of a peristaltic pump.

After receive the products,If you have any comments or unsatisfactory,please contact JIHPUMP's service centers freely,we stand ready to solve your issues.You can also get in touch with JIHPUMP marketing department,they also can provide professionals information about your products applications, maintenance support,maintenance and others.

Thanks again for use JIHPUMP! Your feedback is important to us to enhance innovation capability and power source,we will cherish each of your suggestions and comments!

10, Package

Item	Model	Unit	Qty.	Note
1	Drive	pc	1	
2	153Yx	pc	1	Choose one
	253Yx	pc	1	
	DG	pc	1	
	DGX	pc	1	
3	Power line	pc	1	
4	1*1 2*1 3*1	m	1	DG
5	14#	m	2 for one size tube	Pump head 253Yx or DGX allocated one size tube
6	16#			
7	25#			
8	17#			
9	18#			
10	15#	m	2 for one size tube	Pump head 253Yx allocated one size tube
11	24#			
12	35#			
13	36#			
14	Operate manual	pc	1	
15	Warranty card	pc	1	

1 , Communication data format

MODBUS_rtu standard communication protocol, baud rate 9600, 8 bit data bits, 1 stopbit, even parity.

2 , Command code to achieve

The command code used for MODBUS_rtu communication have 02, 04, 06, 15, the starting address are all 999.

3 , 02 discrete signal input

The bit address 999 of the 02 command is the start and stop signals, 1 for start, 0 for stop. 1000 is positive and negative signals, 1 for positive, 0 for negative.

4 , 04 register input

The word address 999 of the 04 command is the speed signal, 1000 is temperature signal, all data are integer;

1001 and 1002 are flow coefficient signals, 1001 is high, data for long integer. The flow data is the speed multiplied the flow coefficient.

1003 and 1004 are cumulative flow signals, 1003 is high, long integer.

5 , 06 register output

The word address 999 of the 06 command is speed control, integer.

6 , 15 discrete signal output

The bit address 999 for the 15 command is the start and stop control ; 1000 is the positive and negative control.

7 , MODBUS output control

MODBUS output control the speed, start and stop, positive and negative; only in the external control mode that the MODBUS_RTU can be achieved.

8 , MODBUS input acquisition

In any mode can collect the signals for the speed, start and stop, positive and negative; in flow mode also can collect the flow coefficient and cumulative flow data.

9 , Communication machine address

The communication machine address is set in the parameter, and re-power initialization.

10 , Multi-machine communication

The machine can be multi-machine communication, largest for 30 pcs.

Anexo 3 Presupuesto

MOTIVO	ITEM	DESCRIPCION MATERIALES	CANT.	PRECIO	PRECIO TOTAL
IMPLEMENTACIÓN	1	BOMBA PERISTÁLTICA DE 4 A 20 MAMP	1	475	475
	2	TARJETA DE ADQUISIÓN	1	150	150
	3	MINI CPU	1	100	100
	4	DISCO DURO	1	33	33
	5	TARJETA DE MEMORIA	1	33	33
	6	CABLE DE RED	1	1	1
	7	CABLE INDUSTRIAL	2	1.5	3
	8	PANTALLA	1	100	100
ESTRUCTURA	9	PORTA QUÍMICO	1	30	30
	10	TABLERO PARA PANTALLA	1	20	20
	11	ACRÍLICO PARA BOMBA	1	20	20
	12	MANGUERA 3/8	6	3	18
	13	MANGUERA ¼	2	1	2
	14	TUBO PVC DE ½	2	1.5	3
	15	UNIÓN HEMBRA DE ½	6	0.5	3
	16	UNIÓN MACHO DE ½	6	0.5	3
	17	ABRAZADERA DE 3/8	12	0.5	6
	18	UNIÓN RAPIDA 90° DE 1/4	1	1	1
	19	ADAPTADOR DE 1/2 A 3/8	6	2	12
	20	ACRÍLICO PARA TUBERIAS	1	0	0
	21	TORNILLOS, TUERCAS, ANILLOS PLANO Y PRESIÓN	10	0	0
	22	EXTENSIÓN PARA 220V	1	0	0
MEDICIÓN	23	UNIONES PVC PARA CABLE CONCÉNTRICO 2"	4	2	8
	24	RACORES UNIÓN RÁPIDA 8MM A 1/4	2	5	10
	25	MANGUERA 8MM	1	3	3
	26	RACORES UNION RÁPIDA 12MM A 1/4	2	7	14
	27	SENSOR DE CAUDAL	1	10	10
REPOSICIÓN	28	VÁLVULA SELENOIDE	1	24	24
	29	FUENTE 12V 30 AMP	1	25	25
	30	MOTOR DC 12V (MEZCLADOR)	1	10	10
	31	SENSORES DE pH	2	50	100
	32	BOMBA DE DIAFRAGMA 12V	1	44	44
	33	ÁCIDO	1	0	0
	34	ALCALINO	1	0	0
LIMPIEZA	35	DESOXIDANTE	1	3	3
	36	LIJAS	4	0.4	1.6
	37	DILUYENTE	1	1	1
TOTAL					1266.6

Tabla 13. Presupuesto

Anexo 4 Cronograma de Actividades

ACTIVIDADES	oct-19	nov-19	dic-19	ene-20	feb-20	mar-20	abr-20	may-20	jun-20	jul-20	ago-20	sep-20	oct-20	nov-20	dic-20	ene-21
Cotización de materiales	■															
Pedidos de materiales		■														
Llegada de bomba peristáltica			■	■												
Cambios en estructura					■						■	■				
Elaboración de planos de estructura en AutoCAD con sus cotas						■	■	■								
Establecer la comunicación entre SCADA de LabVIEW e industruino.					■											
Desarrollo de marco teórico en el libro de tesis								■	■	■						
implementación de pantalla y bomba peristáltica											■	■				
Calibración de sensores													■			
Modelado matemático													■	■		
Diseño e implementación de un sistema de control PID Difuso.														■		
Análisis de pruebas y error. Conclusiones - libro de tesis															■	
Revisión técnica															■	
Sustentación																■

Tabla 14. Cronograma

Anexo 5 Ensamblaje del Prototipo



Figura 111. Acoplando PC al tablero.



Figura 112. Posicionamiento y organización de componentes del tablero de control y de sus cables.



Figura 113. Conexiones de la pantalla.



Figura 114. Conexión en red entre el industruino y la pantalla.



Figura 115. Visión frontal del Módulo de prácticas.

Anexo 6 Programación Bomba Peristáltica (LabVIEW)

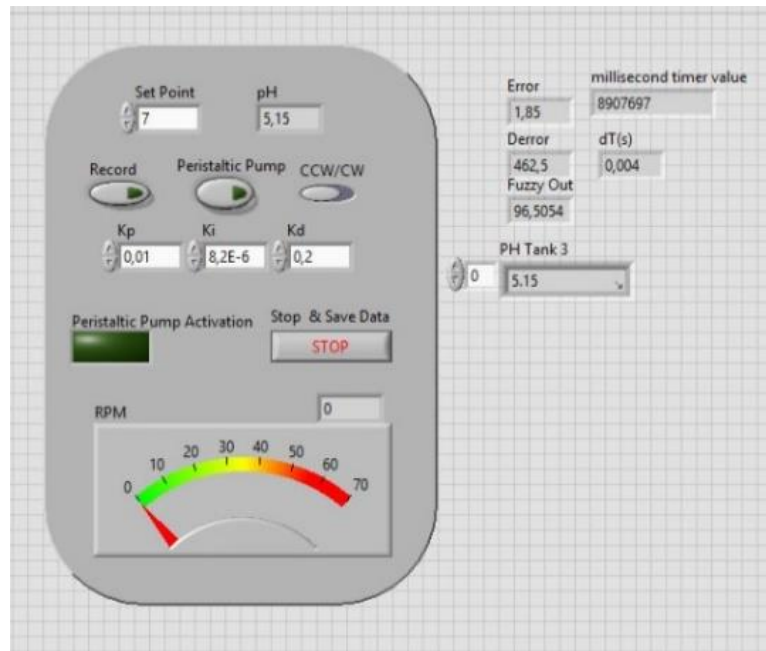


Figura 116. Interfaz controlador PID Difuso.

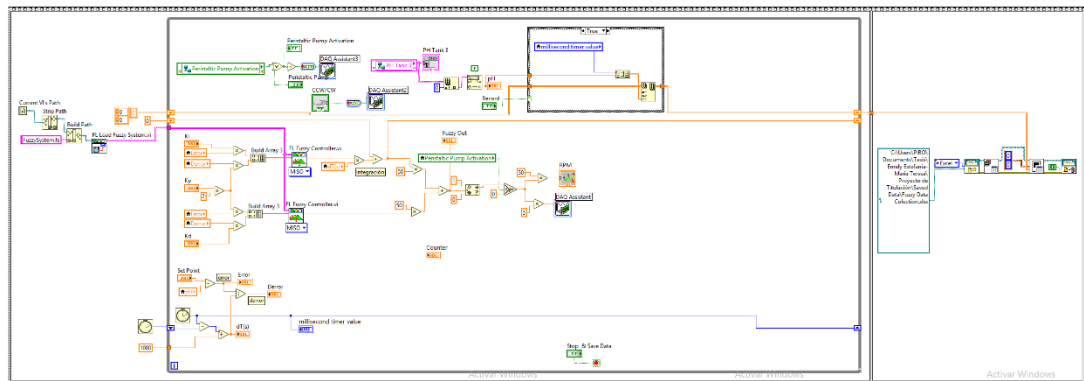


Figura 117. Programación en LabVIEW controlador PID Difuso.

Anexo 7 Simulación PID Difuso (LabVIEW)

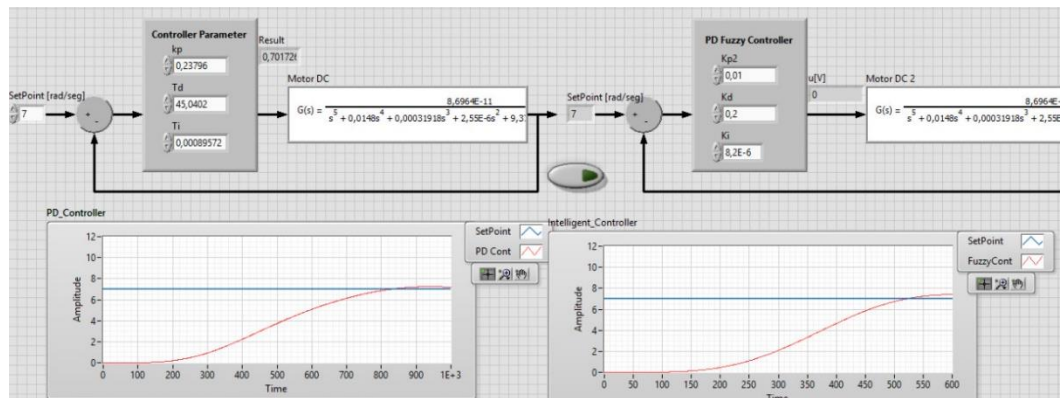


Figura 118. Simulación controlador PID y PID Difuso (Interfaz gráfica).

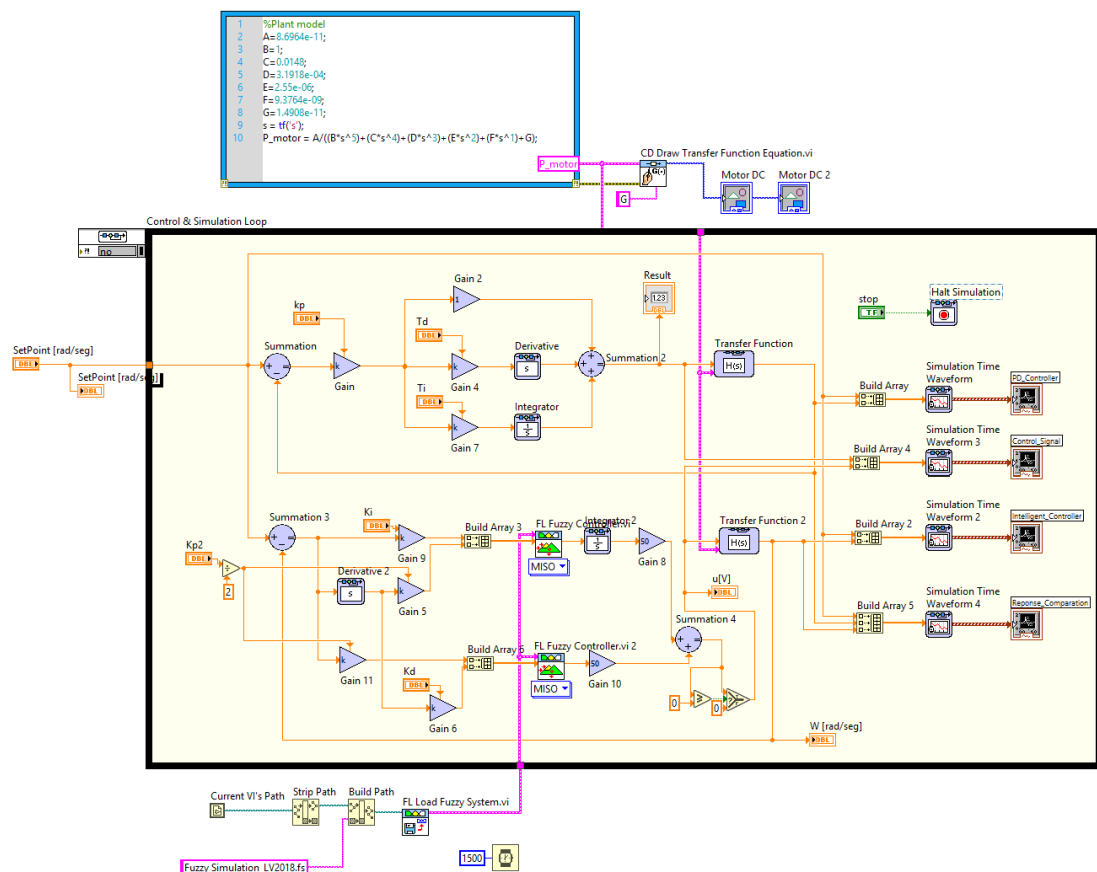



Figura 119. Programación de la simulación controlador PID y PID Difuso en LabVIEW

Anexo 8 Precauciones con la Base Alcalino



PROTQUIM

aquaTECH
swissQUALITY

BOLETÍN TÉCNICO

ACC

Neutralizante alcalino para uso industrial

ACC, está constituido por productos fuertemente alcalinos, no posee agentes surfactantes. Ayuda a neutralizar las aguas acidas de lavados químicos, al mismo tiempo que posee un efecto pasivante en superficies de acero al carbón, completando así el ciclo de limpieza y protección.

Puede ser usado como un eficaz desengrasante industrial, para empresas de alimenticias donde la grasa animal sugiere problemas en la sanitización de superficies y pisos.

Todas las materias primas usadas para fabricar el **ACC** son calificadas por la FDA (Food and Drugs Administration) de los Estados Unidos como seguras.

Por tanto se puede usar **ACC**, en materiales y equipos que van a estar en contacto con productos de consumo humano.

Por su alta alcalinidad, no se recomienda usar **ACC** en equipos cuya estructura sea en base a aluminio.

Cuando se trata de otro tipo de limpieza, se lo puede usar diluido a satisfacción del usuario.

PRECAUCIONES:

Por ser un producto altamente alcalino, se recomienda manipularlo con guantes de goma o nitrilo. Evite el contacto directo con los ojos, piel y ropa. Si esto sucede, lavase con abundante agua; si cae en los ojos, hágase atender de un médico.

PRESENTACION:

ACC se expende en recipientes de 30 y 220 kilogramos.

Propiedades Físico Químicas	
Color:	Incoloro
Estado Físico:	Líquido
pH:	14.0
Solubilidad en agua:	Total
Compatibilidad:	Reacciona con ácido, Aluminio.

NFPA 704



Rev: 03/ 2019

Planta y Oficina: Km. 30 de la Vía Guayaquil - Daule, Sector Petrillo del Cantón Nobol
Telf.: 04 3081941 Cell.: 0999 506852 * 0994 941651
pgilces@protquim.com · www.protquim.com

Anexo 9 Precauciones con el ácido



BOLETÍN TÉCNICO

NEUTRALIZANTE

NEUTRALIZANTE ÁCIDO PARA TORRES DE ENFRIAMIENTO

NEUTRALIZANTE, ha sido especialmente formulado para ser empleado en el tratamiento acidificante en circuitos abiertos de enfriamiento, con el objeto de eliminar la incrustación ocasionada por el alto contenido de sales duras sobre el sistema, al mismo tiempo que genera un ambiente óptimo para el correcto trabajo de biocidas.

NEUTRALIZANTE, es un blend de ácidos orgánicos e inorgánicos, con las siguientes características:

PARÁMETROS	UNIDAD	VALOR
Contenido de activo	(%)	20 - 25
Gravedad específica	Adimensional (@ 25 °C)	1.35 ± 0.05
pH	Adimensional (@ 25 °C)	1.0 ± 0.5
Apariencia	N/A	Incoloro
Solubilidad	N/A	100% en agua

PRINCIPALES VENTAJAS:

No contiene ácidos precursores, por ende no es necesario obtener permisos estatales para su uso.
Controla eficazmente el pH
Es selectivo
Puede utilizarse a cualquier presión de trabajo
No forma mezclas azeotrópicas

Compatible con los otros productos químicos utilizados en el tratamiento aguas de torres de enfriamiento y/o clarificación.
Excelentes resultados en circuitos cortos o sencillos
Excelente relación costo-rendimiento

Dosis:

La dosis de NEUTRALIZANTE varía de acuerdo a la alcalinidad del agua de recirculación, presión del sistema y pH que desea alcanzarse. En todo caso, NEUTRALIZANTE deberá dosificarse en cantidades suficientes para alcanzar un pH entre 7,0 y 7,5. Su representante PROTQUIM podrá proporcionarle mayor información al respecto.

Despacho y Almacenamiento

NEUTRALIZANTE se despacha en canecas plásticas de 40 kg. neto. Se recomienda no almacenarlo por más de un año.

Manejo y Seguridad

NEUTRALIZANTE, es muy irritante cuando entra en contacto con los ojos. En este caso, deberá lavarse los ojos inmediatamente por 15 minutos y luego acudir a un médico. Durante la manipulación del producto use protección ocular. Las soluciones diluidas son menos irritantes para los ojos.

REV: 01/2019

Planta y Oficina: Km. 30 de la Vía Guayaquil - Daule, Sector Petrillo del Cantón Nobol
Telf.: 04 3081941 Cell.: 0999 506852 * 0994 941651
pgilees@protquim.com · www.protquim.com

