



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Proyecto técnico previo a la obtención del título de:
INGENIERO ELECTRÓNICO**

Título:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
CONTROL DE DOSIFICACIÓN ÁCIDA Y ALCALINA PARA
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”**

Autores:

**OSWALDO SOTO ERAS
MARCELO GUILLEN NARANJO**

Tutor de proyecto Técnico:

ING. LUIS NEIRA, MSc.

GUAYAQUIL- ECUADOR

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.

Nosotros, OSWALDO SOTO ERAS y MARCELO GUILLEN NARANJO autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro. Además, declaramos que los conceptos y análisis desarrollados y conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Oswaldo Soto Eras

Cédula:

Marcelo Guillen Naranjo

Cédula:

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN A LA UPS**

Nosotros, **OSWALDO SOTO ERAS**, con documento de identificación N° **0929107902** y **MARCELO GUILLEN NARANJO** con documento de identificación N° **0927126581**, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN ACIDA Y ALCALINA PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”** mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELECTRÓNICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Oswaldo Soto Eras

Cedula:

Marcelo Guillen Naranjo

Cedula:

**CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
SUSCRITO POR EL TUTOR.**

Yo, **ING. LUIS NEIRA CLEMENTE, MSc.** Director del proyecto de titulación denominado: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN ACIDA Y ALCALINA PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”** realizado por los estudiantes **OSWALDO SOTO ERAS** y **MARCELO GUILLEN NARANJO**, certifico que han sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil,

Ing. Luis Neira Clemente, MSc.

DEDICATORIA

El presente trabajo investigativo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hoy logro llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido de orgullo y privilegio de ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral, que me brindaron a lo largo de esta etapa de mi vida.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Marcelo Guillen Naranjo

DEDICATORIA

Este proyecto técnico va dedicado a mi familia, principalmente a mi papá Moisés Soto, mi mamá Francisca Eras, que han sido pilar fundamental a lo largo de mi vida, mis hermanos Jimmy Soto y Wilmer Soto que siempre me han motivado con su ejemplo a ser constante y alcanzar los objetivos propuestos.

A mis tíos, primos, enamorada y amigos que siempre me han guiado con sus consejos y conocimientos siendo un gran apoyo en mi vida. Quiero compartir con ellos esta pequeña alegría y este gran logro.

Oswaldo Soto Eras.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad haber sido mi apoyo durante todo este tiempo.

De manera especial a mi tutor de tesis, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A todos los docentes, por haberme brindado tantas oportunidades y enriquecerme en conocimiento.

Marcelo Guillen Naranjo

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres y mis hermanos han sido apoyo incondicional en cada etapa de mi vida universitaria.

A mis tíos, tías, primos, amigos agradezco por cada apoyo, motivación y consejos que he recibido de su parte.

A mi tutor Ingeniero Luis Neira, por su paciencia, sus consejos, su apoyo no solo en la elaboración del proyecto de titulación si no a lo largo de la carrera universitaria.

A cada profesor que gracias a sus enseñanzas han inculcado grandes valores y profesionalismo durante estos años universitarios.

A cada una de las personas que a lo largo del trayecto me han brindado su amistad, apoyo y enseñanzas en el ámbito personal y profesional.

Oswaldo Soto Eras

RESUMEN

AÑO	ALUMNOS	DIRECTOR DE PROYECTO TÉCNICO	TEMA DE PROYECTO TÉCNICO
2019	OSWALDO SOTO ERAS MARCELO GUILLEN NARANJO	ING. LUIS NEIRA CLEMENTE MSc.	“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE DOSIFICACIÓN ACIDA Y ALCALINA PARA PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES”

El presente proyecto técnico tiene como objetivo realizar la demostración del control de dosificación de ácido y solución básica en una maqueta de una planta de tratamiento de agua. Todas las empresas manufactureras que utilizan agua de los ríos deben tener una Planta de tratamiento de aguas para asegurar que las residuales sean regresados al río con un PH = 7 de tal manera que no afecte al ecosistema. Es por eso que existen las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales consisten principalmente en un sistema de dosificación de algún ácido que lo vierte al agua de tal manera que esta permanezca neutra. Esta labor se la realiza manualmente en la mayoría de plantas del país lo cual trae problemas en algunos casos por descuido del operador o falta de capacitación del mismo.

Para esto se diseñó e implementó un prototipo para el control de PH, impulsando en los estudiantes para el crecimiento del desarrollo de prácticas y familiarización con los sistemas de control, dando a conocer la importancia del proceso, la utilización y manejo del sistema industrial y el cuidado del medio ambiente. Por ello existe una normativa municipal obligatoria que el agua residual que salga de las fábrica o Plantas, sea neutralizada, es decir que tenga un valor de PH= 7.

El alcance del proyecto, será considerado como objeto de estudio y demostración de una maqueta de un control Difuso de dosificación de ácido y solución básica. Será implementado en el laboratorio de automatización de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil.

Palabras claves: Control Difuso, PH, Dosificación ácido - base

ABSTRACT

YEAR	STUDENTS	DIRECTOR OF TECHNICAL PROJECT	TECHNICAL PROJECT THEME
2019	OSWALDO SOTO ERAS MARCELO GUILLEN NARANJO	ING. LUIS NEIRA CLEMENTE MSc.	“DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ACID AND ALKALINE DOSAGE CONTROL PROTOTYPE FOR WASTEWATER TREATMENT PLANTS”

The objective of this technical project is to demonstrate the control of the dosage of acid and caustic soda. All manufacturing companies that use water from rivers must have a water treatment plant to ensure that the waste is returned to the river with a PH = 7 in such a way that it does not affect the ecosystem. That is why there are wastewater treatment plants, which consist mainly of a system of dosing some acid or pour it into the water in such a way that it remains neutral.. This work is carried out manually in most of the country's plants, which causes problems in some cases due to operator oversight or lack of training.

For this, a prototype for PH control will be designed and implemented, encouraging students to develop their practices and familiarize them with industrial systems, making known the importance of the process, the use and management of the industrial system and the care environment. For this reason there is a mandatory municipal regulation that the residual water that leaves the factory or plants; is neutralized, that is to say that it has a value of PH = 7.

The scope of the project will be considered as an object of study and demonstration of a model of a control of dosage of acid and caustic soda. It will be implemented in the automation laboratory of the Salesiana Polytechnic University of Guayaquil

KeyWords: Control, PH.

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.	2
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS	3
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR.....	4
DEDICATORIA	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
AGRADECIMIENTO	8
RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
ÍNDICE GENERAL	11
ÍNDICE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
1. EL PROBLEMA.....	17
1.1. Antecedentes	17
1.2. Importancia y Alcances	17
1.3. Delimitación	17
1.3.1. Temporal	17
1.3.2. Espacial.....	17
1.3.3. Académica	17
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos.....	18
2. Fundamentos teóricos	18
2.1. Medición de PH.....	18
2.2. TARJETA I/O ARDUINO	21
2.3. LabView	22
2.3.1. Implementar control lazo cerrado–PID.....	23
2.3.2. Bloque Control fuzzy o difuso Labview	25
2.4. Control Difuso o Fuzzy	26
2.5. Electroválvula.....	27
2.6. Bomba con motor	28
2.7. Variador de velocidad	28
2.8. Electrodo de vidrio pH combinado II.....	29
2.9. Planta de tratamiento de aguas residuales	32
3. MARCO METODOLÓGICO	35

3.1.	Descripción del proceso	36
3.2.	Tablero eléctrico de control y fuerza	36
3.3.	Medición de nivel del agua	37
3.4.	Medición ph	39
3.5.	Medición de temperatura del agua tratada	41
3.6.	Construcción de la maqueta	42
3.7.	Elaboración del tablero eléctrico	44
3.8.	Sistema de control con labview	45
3.9.	Linx - puertos de configuración.....	47
3.10.	Realización del control difuso con Labview	48
3.11.	Reglas para el sistema difuso	55
3.11.1.	Test del sistema de control fuzzy.....	56
3.12.	Programación del fuzzy en el diagrama de bloques	57
3.13.	Programación general del sistema.....	61
5.	CONCLUSIONES.....	68
6.	RECOMENDACIONES.....	69
7.	ANEXOS	70
	BIBLIOGRAFÍA.....	76

ÍNDICE FIGURAS

Figura 2.1: Medidor de PH	18
Figura 2.2: Tarjeta Arduino	21
Figura 2.3: Interfaz LabView	22
Figura 2.4: Configuración bloque PID.....	23
Figura 2.5: Diagrama de bloques del control difuso	25
Figura 2.6: Variables de entrada y salida en el control difuso	25
Figura 2.7: Ejemplo de programación a bloques del control difuso en Labview.....	26
Figura 2.8: Lazo de control difuso	26
Figura 2.9: Diagrama de control Fuzzy	27
Figura 2.10: Electroválvula.....	27
Figura 2.11: Circuito para electrodos y potenciales que miden el PH	30
Figura 2.12: Electrodos y potenciales que miden el PH	30
Figura 2.13: Relación mV- pH en función de la temperatura	32
Figura 2.14: Etapas de tratamiento de agua residual.....	33
Figura 2.15: Tratamiento de agua residual.....	34
Figura 3.1: Maqueta del Sistema de control de PH de agua tratada	36
Figura 3.2: Tablero eléctrico de control y fuerza.....	36
Figura 3.3: Parte interior del tablero eléctrico de control y fuerza	37
Figura 3.4: Programación con Linx para la medición del nivel del agua.....	38
Figura 3.5: Indicación gráfica para la medición del nivel del agua	38
Figura 3.6: Conexión de sensor ultrasónico HC- SR04 con la tarjeta Arduino 1	39
Figura 3.7: Código para la medición de PH.....	39
Figura 3.8: Conexión del PHmeter a la tarjeta Arduino UNO	40
Figura 3.9: Prueba de medición de PH	40
Figura 3.10: Sensor de temperatura RTD tipo Pt100.....	41
Figura 3.11: Tablero de madera para el soporte de la partes	42
Figura 3.12: Ubicación de los tanques en el tablero	42
Figura 3.13: Ubicación de las tuberías y elementos electroneumáticos.....	43
Figura 3.14: Construcción de la estructura metálica de la maqueta (a)	43
Figura 3.15: Construcción de la estructura metálica de la maqueta (b)	44
Figura 3.16: Tablero eléctrico de control y fuerza.....	44
Figura 3.17: Elementos internos del tablero de control y fuerza	45
Figura 3.18: Parametrización para la comunicación de Arduino con Labview a travez de Linx	45
Figura 3.19: VI VISA para comunicación del Arduino con Labview	46
Figura 3.20: VISA Read	46
Figura 3.21: Property Node.....	46
Figura 3.22: Fract/Exp String To Number	47
Figura 3.23: VISA Close.....	47
Figura 3.24: Linx Open.....	47
Figura 3.25: Linx Digital Write	47
Figura 3.26: Set Duty Cycle.....	48
Figura 3.27: Analog Read	48
Figura 3.28: Fuzzy System Designer	48
Figura 3.29: Funciones de membresía para el Fuzzy	49
Figura 3.30: Función de membresía PA (Poco Ácido)	49
Figura 3.31: Función de Membresía MA (Medio Ácido)	50

Figura 3.32: Función de Membresía ALA (Alto Ácido).....	50
Figura 3.33: Función de Membresía AA (Ácido Ácido)	51
Figura 3.34: Función de Membresía PB (Poca Base)	51
Figura 3.35: Función de Membresía PB (Poca Base)	52
Figura 3.36: Función de Membresía ALB (AltaBase).....	52
Figura 3.37: Función de Membresía BB (Base Base).....	53
Figura 3.38: Función de Membresía VCERO (Voltaje Cero).....	53
Figura 3.39: Función de Membresía VB (Voltaje Bajo).....	54
Figura 3.40: Función de Membresía VM (Voltaje Medio).....	54
Figura 3.41: Función de Membresía VA (Voltaje Alto)	55
Figura 3.42: Función de Membresía VA (Voltaje Voltaje)	55
Figura 3.43: Función de Membresía VA (Voltaje Voltaje)	56
Figura 3.44: Evolución de la valvula de salida	57
Figura 3.45: Strip Path y Build Path	57
Figura 3.46: Strip Path y Build Path	58
Figura 3.47: Conexión del Current VI	58
Figura 3.48: Creación de una constante	58
Figura 3.49: Ubicación de la herramienta FL Load Fuzzy	59
Figura 3.50: Ubicación de la herramienta FL Fuzzy Control	60
Figura 3.51: Gráfica de conexión.....	60
Figura 3.52: Indicación del Set Point.....	61
Figura 3.53: Conexión FL Fuzzy Controller.....	61
Figura 3.54: Panel Frontal del Proyecto.....	62
Figura 3.55: Comunicación LabView - Arduino utilizando VISA	62
Figura 3.56: Aplicación del control Fuzzy.....	63
Figura 3.57: Salidas Digitales y PWM.....	63
Figura 3.58: Salidas Luces y solenoides	64
Figura 3.59: Entradas de temperatura y nivel ultrasónico.....	64
Figura 3.60: Controles digitales para accionamiento de luces y bombas.....	65
Figura 4.1: Toma de lecturas de temperatura del agua tratada.....	65
Figura 4.2: Comparación del valor de temperatura indicada en la PC vs lectura del multímetro	66
Figura 4.3: Medición de Nivel de agua con un Vernier en comparación con el ultrasónico .	66
Figura 4.4: Verificación del Nivel de agua con un Vernier en comparación con el el Valor del Scada.....	67
Figura 4.5: Scada del control Fuzzy para PH.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Concentraciones de varios tipos de soluciones con su PH	19
--	----

INTRODUCCIÓN

Por normativa municipal es obligatorio que el agua residual que salga de las fábricas o Plantas, sea neutralizada, es decir que tenga un valor de $\text{PH} = 7$.

Esto debido a Normativas Internacionales en Sistemas de Gestión Ambiental, se publicó en septiembre de 1996 por la Organización Internacional para la Normalización (con sede en Ginebra, Suiza). Allí se genera una norma efectiva en ecogestión (ISO 14000/14001 – sistemas de gestión ambiental) la cual se ha convertido en un requerimiento tanto para la competitividad como para la permanencia de empresas – mediante factores relevantes para reducción de riesgos (ambientales y se puede enlazar a reducción en riesgos de seguridad y salud ocupacional).

Es por eso que existen las plantas de tratamiento de aguas residuales, las cuales consisten principalmente en un sistema de dosificación de algún ácido o solución alcalina en el agua de tal manera que esta permanezca neutra.

Esta labor se la realiza manualmente en la mayoría de plantas del país lo cual trae problemas en algunos casos por descuido del operador o falta de capacitación del mismo.

Todas las empresas manufactureras que utilizan agua de los ríos deben tener una Planta de tratamiento de aguas para asegurar que las residuales sean regresados al río con un $\text{PH} = 7$ de tal manera que no afecte al ecosistema. Para esto se diseñará e implementará un prototipo para el control de PH , impulsando en los estudiantes el crecimiento del desarrollo de prácticas y familiarización con los sistemas industriales, dando a conocer la importancia del proceso, la utilización y manejo del sistema industrial y el cuidado del medio ambiente.

1. EL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

A Normatividad Internacional en Sistemas de Gestión Ambiental, se publicó en septiembre de 1996 por la Organización Internacional para la Normalización (con sede en Ginebra, Suiza). Allí se genera una norma efectiva en eco-gerencia (ISO 14000/14001 – sistemas de gestión ambiental) la cual se ha convertido en un requerimiento tanto para la competitividad como para la permanencia de empresas – mediante factores relevantes para reducción de riesgos (ambientales y se puede enlazar a reducción en riesgos de seguridad y salud ocupacional).

1.2. Importancia y Alcances

El alcance del proyecto, es considerado como objeto de estudio y demostración de una maqueta de un control Difuso de dosificación de ácido y solución alcalina, que será entregada a la Universidad Politécnica Salesiana en el transcurso del año 2019

1.3. Delimitación

1.3.1. Temporal

La implementación de este proyecto se realizó durante el 2018 y transcurso 2019

1.3.2. Espacial

El proyecto será entregado a la Universidad Politécnica Salesiana.

1.3.3. Académica

Con este proyecto se va a beneficiar primeramente los estudiantes de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil en el área de Ingeniería electrónica ya que contará con un prototipo para prácticas de control Difuso de PH para las plantas residuales utilizando el Toolkit Fuzzy Logic de LabView. Así mismo a los estudiantes que participan en este trabajo de titulación con lo cual desarrollarán sus conocimientos adquiridos en materias como Sensores, Instrumentación, Teoría de Control, Automatización, Microcontroladores, entre otras.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar e implementar un prototipo de control de dosificación ácida y alcalina para plantas de tratamiento de aguas residuales

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar la maqueta y el circuito de control fuzzy para control de dosificación ácida y alcalina.
- Programar el SCADA para el control y monitoreo del sistema de control de PH a través del software LabView.
- Construir la maqueta e implementar el circuito de control de dosificación ácida y alcalina.
- Realizar pruebas del control de nivel y bombeo
- Realizar pruebas de todo el lazo de control y recolectar los datos en tiempo real utilizando LabView.

2. Fundamentos teóricos

2.1. Medición de PH



Figura 2.1: Medidor de PH(PCE-IBERICA, 2018)

El pH es una medida de la acidez o alcalinidad del agua con compuestos químicos disueltos. Su expresión viene dada por el logaritmo de la inversa de la concentración del ion H expresada en moles por litro.(Antonio, 2005, pág. 319)

$$pH = \log \left[\frac{1}{[H^+]} \right]$$

Señalemos que el agua pura neutra tiene una concentración de ion hidrógeno de 10^{-7} moles por litro. Luego el pH será:

$$pH = \log \left[\frac{1}{[10^{-7}]} \right] = 7$$

Una disolución ácida tiene mayor concentración de ion hidrógeno que el agua pura y por lo tanto su pH será menor de 7. Una disolución básica le ocurre a la inversa y su pH será mayor de 7. Las medidas prácticas del pH se encuentran entre los valores 0 a 14. En la tabla siguiente tabla se muestran las concentraciones de varios tipos de soluciones con su pH correspondiente:(Antonio, 2005, pág. 319)

pH	Concentración H ⁺ Mols/litro	Concentración OH ⁻ Mols/litro	pH de productos alimenticios comunes	pH de varios productos químicos a 25° C
0	1	0,00000000000001		← Ácido sulfúrico 4,9 % (1 N)
1	0,1	0,00000000000001		← Ácido hidrocblórico 0,37 % (0,1 N)
2	0,01	0,00000000000001	Jugo limón →	← Ácido acético 0,6 % (0,1 N)
3	0,001	0,00000000000001	Jugo naranja →	
4	0,0001	0,00000000000001	Cerveza →	
5	0,00001	0,0000000001	Queso →	← Ácido hidrocblánico 0,27 % (0,1 N)
6	0,000001	0,00000001	Leche →	
7	0,0000001	0,00000001	Agua pura →	
8	0,00000001	0,0000001	Huevos blancos →	← Bicarbonato sódico 0,84 % (0,1 N)
9	0,000000001	0,000001	Bórax →	← Acetato de potasio 0,98 % (0,1 N)
10	0,0000000001	0,00001	Magnesia →	

Tabla 1.1: Concentraciones de varios tipos de soluciones con su PH (Antonio, 2005)

En la medida de pH pueden utilizarse varios métodos, de entre los cuales los más exactos y versátiles de aplicación industrial son:

- El sistema de electrodo de vidrio y el de transistor (ISFET– Ion Sensitive Field Effect Transistor). (Antonio, 2005)

- El electrodo de vidrio consiste en un tubo de vidrio cerrado en su parte inferior con una membrana de vidrio especialmente sensible a los iones hidrógeno. En la parte interna de esta membrana se encuentra una solución de cloruro tampón de pH constante dentro de la cual está inmerso un hilo de plata recubierto de cloruro de plata. (Antonio, 2005)

Se puede obtener el valor de PH utilizando algunos métodos entre ellos:

- De manera precisa mediante un potenciómetro, también denominado PH-metro, el mismo se determina como un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno.
- Se puede medir también de manera aproximada empleando indicadores: ácidos o bases débiles que presentan diferente color según el pH. Generalmente se emplea un papel indicador, que consiste en papel impregnado con una mezcla de indicadores cualitativos para la determinación del pH. El indicador más conocido es el papel de litmus o papel tornasol.
- A pesar de que muchos potenciómetros tienen escalas con valores que van desde 1 hasta 14, los valores de pH también pueden ser menores que 1 o mayores que 14. Por ejemplo el ácido de las baterías de automóviles tienen valores de pH menores que uno. Por contraste, el hidróxido de sodio para medirlo se utilizaría un potenciómetro de valor 1 M, nos daría como resultado unavariación de 13.5 a 14.

La variación del PH depende mucho de la temperatura a la que se encuentre por ejemplo:

- A 25 °C, un pH igual a 7 es neutro, uno menor que 7 es ácido, y si es mayor que 7 es básico. A distintas temperaturas, el valor de pH neutro puede variar debido a la constante de equilibrio del agua.

La determinación del pH es uno de los procedimientos analíticos más importantes y más utilizados en química y bioquímica. El pH determina muchas características notables de la estructura y de la actividad de las moléculas, por lo tanto, del comportamiento de células y organismos.

El pH que es medido en el laboratorio, generalmente no es el mismo que el calculado mediante la ecuación:

$$PH = -\log[H^+]$$

Debido al valor numérico de concentración en iones hidrógeno, no es igual al valor de su actividad, excepto, para las disoluciones diluidas. (Antonio, 2005)

2.2. TARJETA I/O ARDUINO



Figura 2.2: Tarjeta Arduino(Arduino)

Arduino es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino Uno puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de tu computadora (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP).

Las placas se pueden ensamblar a mano o encargarlas pre-ensambladas; el software se puede descargar gratuitamente. Los diseños de referencia del hardware (archivos CAD) están disponibles bajo licencia open-source, por lo que eres libre de adaptarlas a tus necesidades. (<https://arduino.cl/que-es-arduino/>)

Ofrece algunas ventajas para profesores, estudiantes y a aficionados interesados sobre otros sistemas:

- **Barato:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras. La versión menos cara del modulo Arduino puede ser ensamblada a mano, e incluso los módulos de Arduino pre-ensamblados cuestan menos de \$50. (Arduino.cl)
- **Multipataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux. La mayoría de los sistemas microcontroladores están limitados a Windows. (Arduino.cl)
- **Entorno de programación simple y claro:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también. Para profesores, está convenientemente basado en el entorno de programación Processing, de manera que estudiantes aprendiendo a programar en ese entorno estarán familiarizados con el aspecto y la imagen de Arduino. (Arduino.cl)
- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados. El lenguaje puede ser expandido mediante librerías C++, y la gente que quiera entender los detalles técnicos pueden hacer

el salto desde Arduino a la programación en lenguaje AVR C en el cual está basado. De forma similar, puedes añadir código AVR-C directamente en tus programas Arduino si quieres. (Arduino.cl)

- **Código abierto y hardware extensible:** El Arduino está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. Los planos para los módulos están publicados bajo licencia CreativeCommons, por lo que diseñadores experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo, extendiéndolo y mejorándolo. Incluso usuarios relativamente inexpertos pueden construir la versión de la placa del módulo para entender como funciona y ahorrar dinero. (Arduino.cl)

2.3. LabView

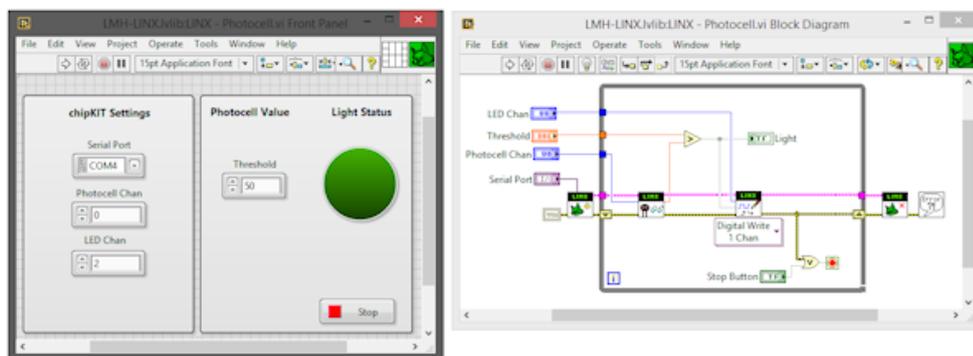


Figura 2.3: Interfaz LabView (DIGILENT, 2019)

LabVIEW es un entorno de desarrollo integrado y diseñado específicamente para ingenieros y científicos. Nativo de LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica que utiliza un modelo de flujo de datos en lugar de líneas secuenciales de código de texto, lo que le permite escribir código funcional utilizando un diseño visual que se asemeja a su proceso de pensamiento. Esto significa que usted emplea menos tiempo preocupándose por el por punto y coma y la sintaxis y más tiempo resolviendo los problemas que importan. (National Instrument)

NI LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico diseñado para ingenieros y científicos para desarrollar aplicaciones de pruebas, control y medidas. La naturaleza intuitiva de la programación gráfica de LabVIEW lo hace fácil de usar por educadores e investigadores para incorporar el software a varios cursos y aplicaciones. Con LabVIEW, los educadores e investigadores pueden usar un enfoque de diseño de sistemas gráficos para diseñar, generar prototipos y desplegar sistemas embebidos. Combina la potencia de la programación gráfica con hardware para simplificar y acelerar drásticamente el desarrollo de diseños. (National Instrument)

2.3.1. Implementar control lazo cerrado–PID

Un sistema de control en lazo cerrado es necesario para automatizar el monitoreo y mantenimiento de una variable en un proceso cualquiera.

Para la utilización de este bloque se necesita tomar en cuenta los siguientes pasos:

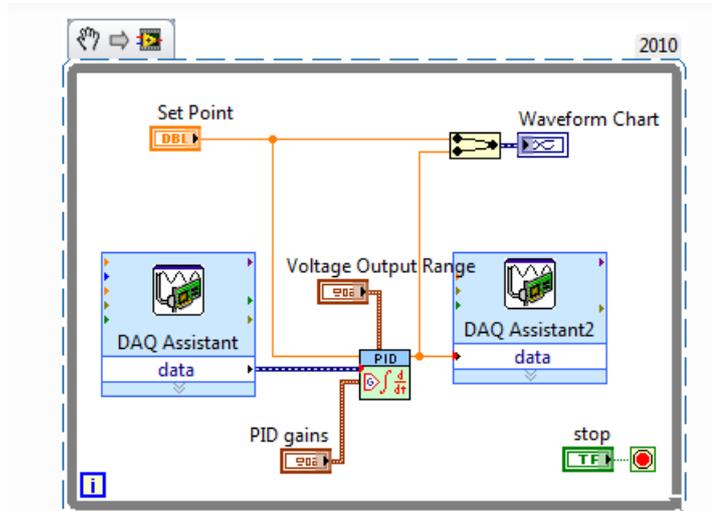


Figura 2.4: Configuración bloque PID (National Instruments, 2010)

- Conecte el dispositivo DAQ USB a su PC
- Conecte el sensor que se va a monitorear: Entrada Analógica 0 (ai0)
- Puede ubicar los pin-outs del dispositivo para un dispositivo DAQ al buscar su dispositivo en línea en ni.com
- La guía del usuario y las especificaciones contienen este diagrama
- Haga clic con botón derecho en NI Measurement&Automation Explorer (MAX) y seleccione **DevicePinouts**
- Conecte el actuador/motor que será controlado: Salidas Analógicas 0 (AO)
- Coloque un VI DAQ Assistant en el diagrama de bloques para salida analógica
- Haga clic con botón derecho en el diagrama de bloques y seleccione **Express»Output»DAQ Assistant**
- Coloque el DAQ Assistant a la derecha del DAQ Assistant existente en el diagrama de bloques al dar clic con botón izquierdo
- Configure el VI DAQ Assistant
- Seleccione **Generate Signals»AnalogOutput»Voltage**
- Seleccione **Dev1** (o el nombre de su dispositivo si no es Dev1)
- Seleccione **ao0**
- Configure las propiedades de generación de señal
- Seleccione **1 Sample (OnDemand)** para **GenerationMode**
- Escriba **5** para el **Max Signal Output Range**
- Escriba **0** para el **Min Signal Output Range**
- Seleccione **OK** para aplicar estas configuraciones

- Coloque un VI PID Control para controlar el valor de salida analógica
- Haga clic con botón derecho en el diagrama de bloques y seleccione **Control Design&Simulation»PID» PID**
- Haga clic izquierdo para colocar el VI Simulate PID en medio del DAQ Assistant
- Cree las entradas para el VI PID
- Haga clic derecho en la terminal de entrada **Voltage Output Range** y seleccione **Create»Control**
- Haga clic con derecho en la terminal de entrada **PID Gains** y seleccione **Create»Control**
- Haga clic derecho en la terminal de entrada **Set Point** y seleccione **Create»Control**
- Vaya al panel frontal al presionar Ctrl-E
- Escriba **5** para la **Output High**
- Escriba **0** para la **Output Low**
- Escriba **1** para **ProportionalGain**
- Escriba **0.01** para **Integral Time**
- Escriba **0** para **Derivative Time**

Nota: Estos valores varían de un sistema a otro y deben ser calculados como corresponde. Use el *PID Autotuning VI* para que LabVIEW determine las ganancias.

- Conecte la salida **Data** desde el DAQ Assistant de entrada analógica a la entrada **Process Variable** del PID VI
- Conecte la **Output** del PID VI a la entrada **Data** del DAQ Assistant de salida analógica
- Ejecute el VI para observar la señal transmitida en la gráfica de forma de onda
- Combine el punto base y la salida desde el VI PID a una señal
- Haga clic con botón derecho en el diagrama de bloques y seleccione **Express»SignalManipulation»MergeSignals**
- Conecte el **Set Point** a la terminal de entrada superior
- Conecte la salida **Data** desde el DAQ Assistant de Entrada Analógica a la terminal inferior
- Cree una tabla de forma de onda para indicar el punto base y datos de entrada analógica
- Vaya al panel frontal al presionar Ctrl-E
- Haga clic con botón derecho en el panel frontal y seleccione **Express»GraphIndicators»Waveform Chart**
- Haga clic con botón izquierdo para colocar la tabla
- Vaya al diagrama de bloques al presionar Ctrl-E
- Asegúrese que la terminal de la tabla de forma de onda está en el Ciclo While
- Conecte la salida MergeSignals a la entrada de la tabla de forma de onda
- Ejecute el VI y observe la salida

- Si es necesario calcule las ganancias PID

Puede convertir sus VIs DAQ Assistant Express en funciones NI-DAQmx de bajo nivel al dar clic derecho en el DAQ Assistant y seleccione **Generate NI-DAQmxCode**. El NI-DAQmx API de bajo nivel presenta más opciones de funcionalidad y personalización para programación. (National Instruments, 2010)

2.3.2. Bloque Control fuzzy o difuso Labview

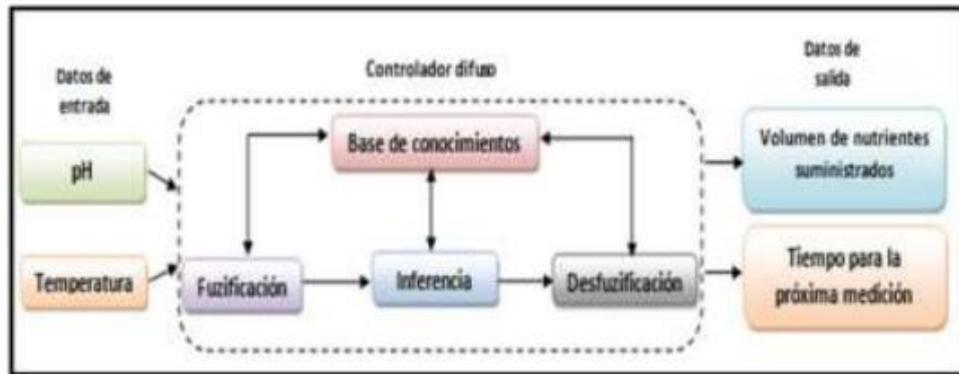


Figura 2.5: Diagrama de bloques del control difuso (I. O. Rico Ascención, 2015)

El diseño del control difuso en la plataforma de LabVIEW, se programa mediante los módulos que presenta el software, los cuales son conocidos como Toolkits, donde se utilizó el Fuzzy Logic. Al ingresar al módulo, se despliega una pantalla donde nos pide los datos requeridos para el control difuso, como son las variables de entrada y las variables de salida, uno de los tipos de control que se puede utilizar como ejemplo es de tipo MIMO por sus siglas en inglés (Multi-Input Multi-Output), teniendo como variables de entrada (pH y temperatura) y de salida (tiempo de muestra, y volumen de nutrientes suministrados).(I. O. Rico Ascención, 2015)

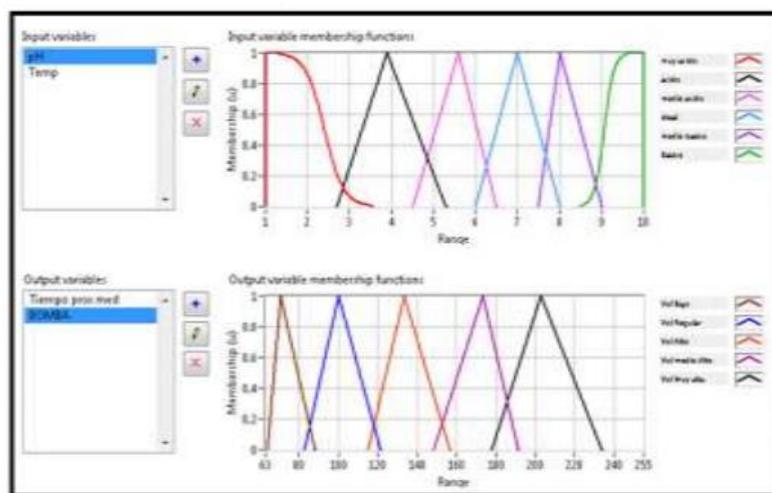


Figura 2.6: Variables de entrada y salida en el control difuso (I. O. Rico Ascención, 2015)

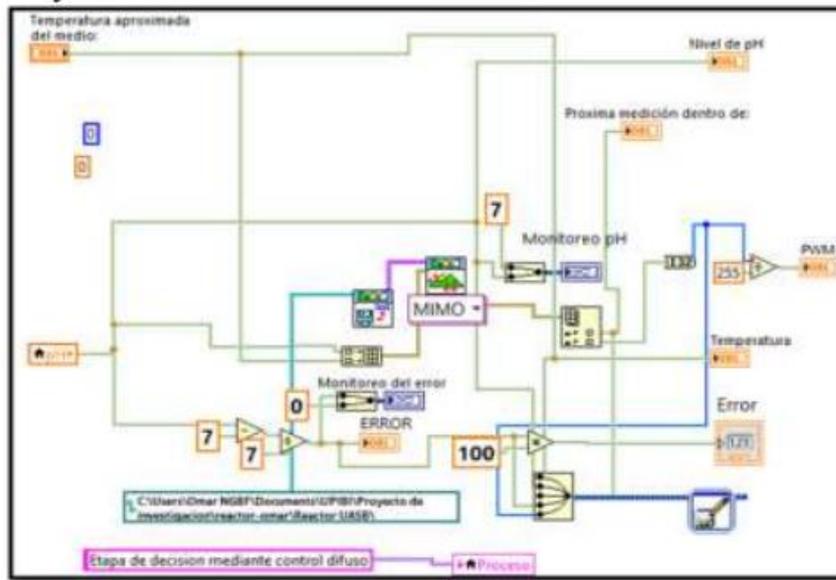


Figura 2.7: Ejemplo de programación a bloques del control difuso en Labview(I. O. Rico Ascención, 2015)

2.4. Control Difuso o Fuzzy

El control difuso, puede ser expresado mejor como un control a través de palabras que interpretan el sentido común, en lugar de números, o bien sentencias en lugar de ecuaciones. Sin embargo, las variables de los procesos no se miden en sentido común, sino en números. Por lo tanto se hace necesario realizar una adaptación previa antes de introducir el estado de la variable al controlador. Esta etapa es llamada fusificación. En la siguiente figura se aprecian las distintas transformaciones que sufren las variables y los datos en un lazo de control difuso. (Samir Kouro)

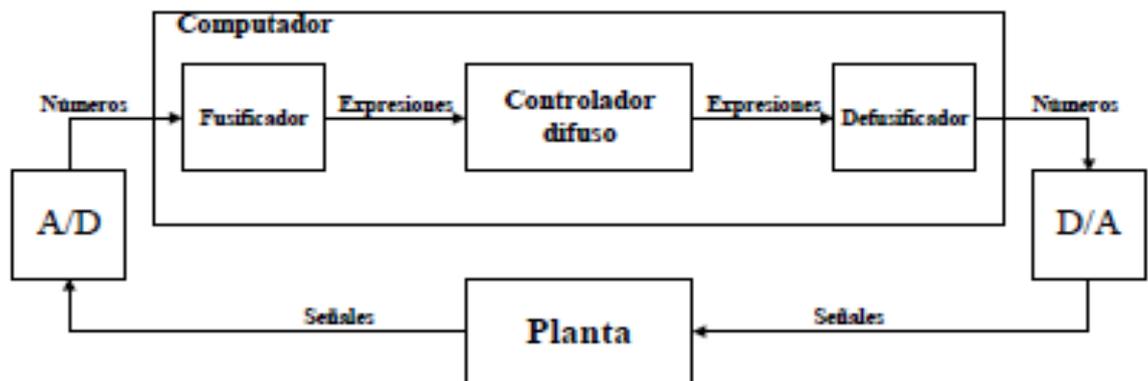


Figura 2 8: Lazo de control difuso (Samir Kouro)

La etapa de fusificación, le otorga a los datos de entrada un grado de membresía dentro de las distintas expresiones posibles, para ello busca la correspondencia entre el estado de las variables, y las funciones de pertenencia definidas para tal propósito. Desde luego, para un determinado valor de una variable, su grado de pertenencia será mayor en una expresión que en las demás. Una vez que se tienen expresados los estados de

las variables en forma lingüística se pueden establecer relaciones lógicas entre ellas, típicamente a través de reglas tales como si... entonces (IF – THEN). Se definen una serie de relaciones que interpretan el sentido común, y permiten generar una actuación deseada (en estado lingüístico), que debe ser aplicada a la planta. Luego esta debe ser traducida a número (defusificación), para que luego el convertor digital-análogo la convierta a señal de tal modo que pueda ser aplicada a la planta.(Samir Kouro)

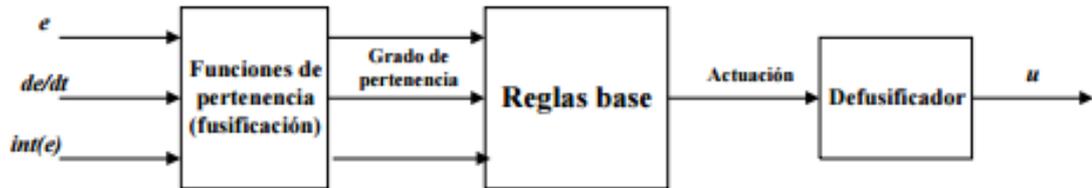


Figura 2.9: Diagrama de control Fuzzy (Samir Kouro)

2.5. Electroválvula



Figura 2.10: Electroválvula(ADAJUSA)

Una electroválvula, es una válvula que se controla eléctricamente. Nos permite controlar la apertura o cierre de un fluido; para direccionarlo a través de diferentes ductos dependiendo del fluido.(DISTRITEC)

Para ello debemos convertir dicha señal eléctrica en una señal de presión, función que realizamos mediante la utilización de un solenoide.

Normalmente se utilizan solenoides de tres vías normalmente abiertos (N.O.), de tal manera que la válvula quede cerrada cuando no se alimenta eléctricamente el solenoide. Según el caso que amerite puede llegar a utilizar solenoides normalmente cerrados (N.C.). (DISTRITEC)

Los fluidos con los que puede trabajar la electroválvula son:

- Aire
- Gases inertes

- Agua (temperatura 75°C)
- Aceites minerales
- Gasóleo
- Flueoil(ADAJUSA)

2.6. Bomba con motor

De las muchas clasificaciones de las bombas de agua, vamos a revisar solamente las más útiles, que responden precisamente a nuestras necesidades.

A tal efecto, una primera clasificación se basa en dos parámetros sumamente importantes: el tipo de energía que recibe el motor de la bomba para funcionar y el uso primario de la bomba.

Existe una gran variedad de sistemas de alimentación de una bomba de agua: electricidad (voltaje de CA y CC), combustible (nafta o gasoil), vapor, agua, sistemas hidráulicos, sistemas a gas natural, sistemas neumáticos o de aire comprimido, sistemas manuales (recordemos las viejas bombas de pozo) y sistemas por energía solar. De todos, sólo nos ocuparemos de los de mayor comercialización actual: electricidad y combustible.

En cuanto al uso de la bomba, hemos visto que también existe una amplia variedad. Sin embargo, hay cuatro aplicaciones fundamentales y esas son las que detalla el gráfico que sigue. Cabe señalar que, independientemente del tipo o aplicación y además de las de superficie, las bombas de agua también pueden ser sumergibles, es decir, pueden introducirse en el líquido que necesitamos elevar o extraer. (De Maquinas y herramientas, 2016)

2.7. Variador de velocidad

Los variadores de frecuencia son sistema utilizados para el control de la velocidad rotacional de un motor de corriente alterna. Un variador de frecuencia son vertientes de un variador de velocidad, ya que llevan un control de frecuencia de alimentación, la cual se suministra por un motor.

Otra forma en que son conocidos los variadores de frecuencia son como Drivers ya sea de frecuencia ajustable (ADF) o de CA, VVVF (variador de voltaje variador de frecuencia), micro drivers o inversores; esto depende en gran parte del voltaje que se maneje. (QuimiNet.com, 2011)

Se alimenta al equipo con un voltaje de corriente alterna (CA), el equipo primero convierte la CA en corriente directa (CD), por medio de un puente rectificador (diodos o SCR's), este voltaje es filtrado por un banco de capacitores interno, con el fin de suavizar el voltaje rectificado y reducir la emisión de variaciones en la señal;

posteriormente en la etapa de inversión, la cual está compuesta por transistores (IGBT), que encienden y apagan en determinada secuencia (enviando pulsos) para generar una forma de onda cuadrada de voltaje de CD a un frecuencia constante y su valor promedio tiene la forma de onda senoidal de la frecuencia que se aplica al motor.(QuimiNet.com, 2011)

2.8. Electrodo de vidrio pH combinado II

Una Sonda para determinar pH (o electrodo combinado sensible a los protones) está formada por un único cuerpo de plástico o de vidrio que contiene a los dos electrodos necesarios para la constitución de una celda potenciométrica, interiormente estos se conectan al potenciómetro. Por lo tanto dicha sonda contendrá tanto al electrodo de referencia externo como al electrodo (o semi-pila) sensible a los protones, representado por una membrana de vidrio sensible a los protones que queda expuesta hacia el medio ambiente en contacto con la muestra y que por otro lado, la misma encierra una solución de H⁺ de actividad constante en contacto con un electrodo de referencia interno.

Calibración del PH-metro o Definición Operacional del pH La determinación experimental del pH de una muestra se sustenta en la Definición Operacional del pH. Debido a las características de estos electrodos y sus respuestas, no es posible realizar mediciones absolutas de pH. En consecuencia, El NIST (National Institute of Standards and Technology) y la IUPAC, recomiendan una definición operacional del pH, que se basa en la Calibración Directa de un medidor de pH (con soluciones reguladoras patrones o estándares) seguido de la determinación del pH de la solución problema o muestra. Este concepto se basa y requiere de los siguientes pasos: 1. Medida de la lectura o valor del potencial de celda cuando la sonda se sumerge en SR patrón o estándar: $E_{celda(p)} = K - 0.0592 \text{ pH}(p)$ 2. Medida de la lectura o valor del potencial celda cuando la sonda se sumerge en la solución problema o muestra: $E_{celda(m)} = K - 0.0592 \text{ pH}(m)$ 3. Reordenando ambas ecuaciones, bajo la suposición que durante las mediciones tanto K como la pendiente (0.0592 V) permanecen constantes; se despeja pH (m), y se obtiene la ecuación que se adopta como Definición Operacional de pH (25°C).(Facultad de Bioquímica y ciencias biológicas Universidad Nacional del Litoral, 2010)

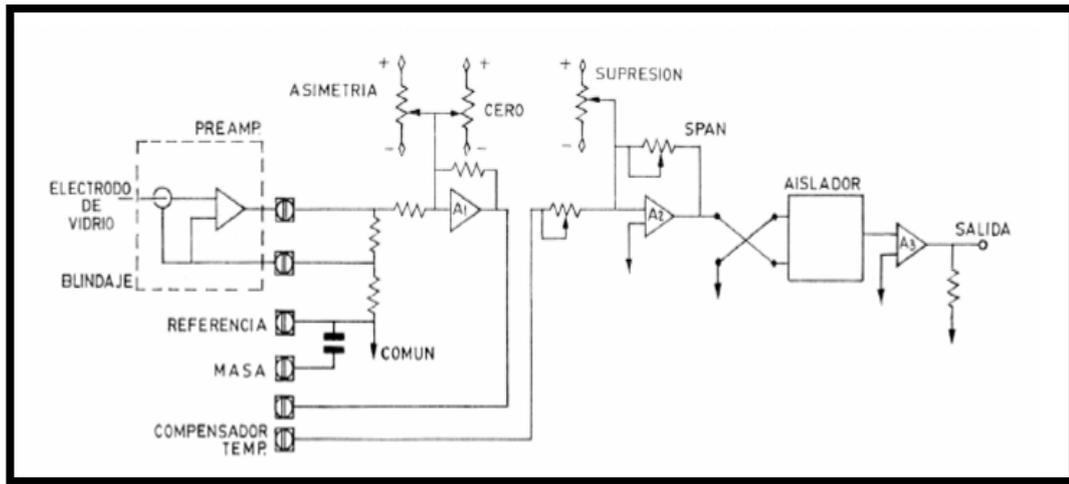


Figura 2.11: Circuito para electrodos y potenciales que miden el PH (Antonio, 2005)

Este potencial cambia con la temperatura, por ejemplo, pasa de 54,2 mV a 0 °C a 74 mV a 100 °C por unidad de pH. Para medir el potencial desarrollado en el electrodo de vidrio es necesario disponer en la solución de un segundo elemento o electrodo de referencia. Éste, aparte de cerrar el circuito, suministra un potencial constante que sirve de referencia para medir el potencial variable del electrodo de vidrio. El electrodo de referencia contiene una célula interna formada por un hilo de plata recubierto con cloruro de plata en contacto con un electrolito de cloruro de potasio. Este electrolito pasa a la solución muestra a través de una unión líquida. De este modo, la célula interna del electrodo permanece en contacto con una solución que no varía de concentración y que por lo tanto proporciona una referencia estable de potencial. (Antonio, 2005)

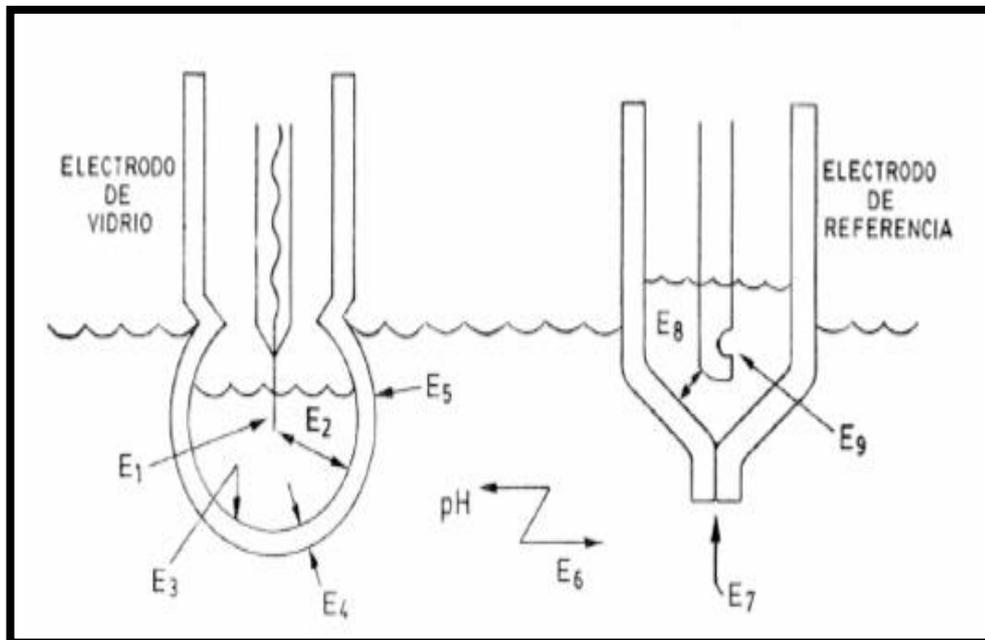


Figura 2.12: Electrodos y potenciales que miden el PH (Antonio, 2005)

Los potenciales existentes son los siguientes:

- E1: Potencial entre el electrodo metálico interior y la solución tampón que puede considerarse constante para una temperatura dada. Las temperaturas extremadamente altas pueden dar lugar a la disolución del revestimiento de cloruro de plata del electrodo.
- E2: Caída de potencial entre el electrodo interior y la cara interna de la membrana de cristal que puede considerarse despreciable.
- E3: Potencial entre solución tampón y superficie de la membrana de cristal que es constante gracias a la estabilidad de la solución tampón y de la membrana de cristal.
- E4: Caída de potencial a través de la membrana que se mantiene constante en cortos períodos mientras la membrana de cristal no sufra alteraciones de origen químico o mecánico. Si este potencial deriva, se calibra con una solución tampón de pH conocido.
- E5: Potencial entre superficie exterior de la membrana de cristal y la solución ensayada que varía con la concentración de iones hidrógeno (pH) de la solución ensayada.
- E6: Caída de potencial a través de la solución ensayada que se considera despreciable, salvo si se trata de agua poco conductora o de soluciones no acuosas.
- E7: Representa el potencial de la unión líquida entre la solución ensayada y la de referencia. Su valor es despreciable, aunque un atascamiento o un exceso de presión externa contra la unión puede influir en la medición.
- E8: La caída de potencial dentro del electrodo de referencia es despreciable.
- E9: Potencial de contacto entre el electrodo de referencia y la solución de CIK que puede considerarse constante si dicha solución no está contaminada. (Antonio, 2005)

Debemos tener en cuenta que al realizar la medición del pH con el electrodo de vidrio este se reduce a medir un potencial resultante entre los electrodos de E1–E9 con una resistencia interna considerable. En las mediciones pueden presentarse algunas dificultades. Entre las más comunes tenemos:

- a) Recubrimiento o abrasión de la membrana del electrodo de vidrio (influye en el potencial E4 y/o en el E5).
- b) Soluciones no acuosas o de alta resistencia (influye en E6 y E5).
- c) Taponamiento o fallo mecánico de la unión del líquido en el electrodo de referencia (influye en E7) que impide el paso de CIK, quedando el circuito abierto. Si el taponamiento es parcial se desarrolla un potencial indeterminado.

- d) Entrada de la solución de ensayo dentro de la solución interna del electrodo de referencia (influye en E6 y de modo más importante en E9) con lo que se destruye el potencial constante deseado.
- e) Variación con el tiempo del potencial de asimetría que depende de la naturaleza del vidrio, del tipo de fabricación, de las impurezas, de la disolución gradual del vidrio en la solución, del desgaste por erosión de la punta del vidrio, etcétera. Este potencial sólo es de unos pocos mV, pero se mantiene constante aunque existan las mismas soluciones a ambos lados del electrodo de vidrio, Los instrumentos de pH disponen de un ajuste para corregir este potencial. (Antonio, 2005)

En la medición del pH puede presentarse el recubrimiento de los electrodos, en cuyo caso el electrodo se comporta como si apreciara bajas concentraciones de ion H + y, por tanto, el instrumento registrador leería altos valores de pH. En estos casos es, pues, necesario limpiar periódicamente el electrodo.

Existen métodos automáticos de limpieza (ultrasonidos, chorro de limpieza, cepillos mecánicos) que todavía no han dado un resultado completamente satisfactorio y dispositivos de extracción manual o automática que permiten la extracción y limpieza del electrodo sin interrumpir el servicio.

Los instrumentos de pH tienen una exactitud de $\pm 0,1$ pH a $\pm 0,2$ pH

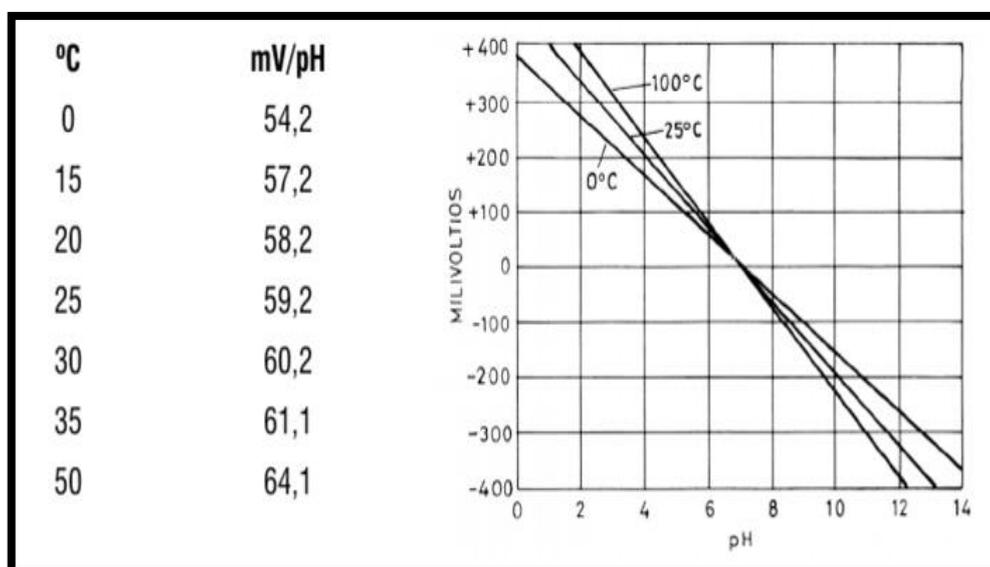


Figura 2.13: Relación mV- pH en función de la temperatura (Antonio, 2005)

2.9. Planta de tratamiento de aguas residuales

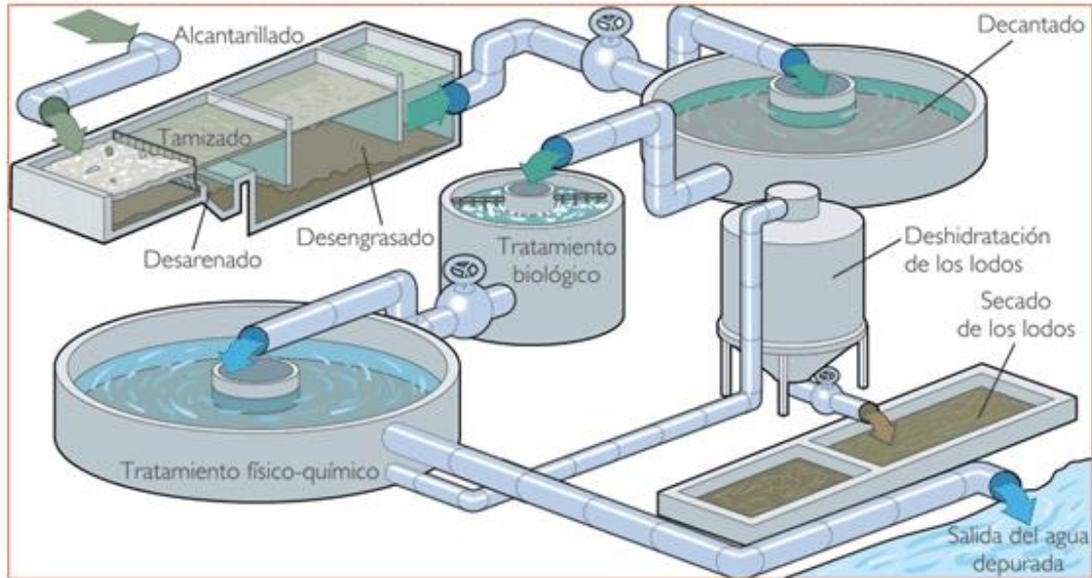


Figura 2.14: Etapas de tratamiento de agua residual (SPENA GROUP, 2018)

Las plantas de tratamiento, están encargadas de realizar la limpieza del agua usada y las aguas residuales para que pueda ser devuelto de forma segura a nuestro medio ambiente.(SPENA GROUP, 2018)

Existen algunos tipos de tratamientos de aguas residuales:

- **Eliminar los sólidos**, desde trapos y plásticos hasta arena y partículas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales.
- **Reducir la materia orgánica y los contaminantes**, bacterias útiles y otros microorganismos naturales que consumen materia orgánica en las aguas residuales
- **Restaurar el oxígeno**, el proceso de tratamiento asegura que el agua puesta de nuevo en los ríos o lagos tiene suficiente oxígeno.

El tratamiento de aguas residuales se realiza básicamente en tres etapas:

Tratamiento preliminar y primario, que elimina 40-60% de los sólidos.

Tratamiento secundario, que elimina aproximadamente el 90% de los contaminantes y completa el proceso para la parte líquida de las aguas residuales separadas.

Tratamiento y eliminación de lodos (biosólidos).

Los pasos que se deben tomar en cuenta para tratamientos de aguas residuales son los siguientes:

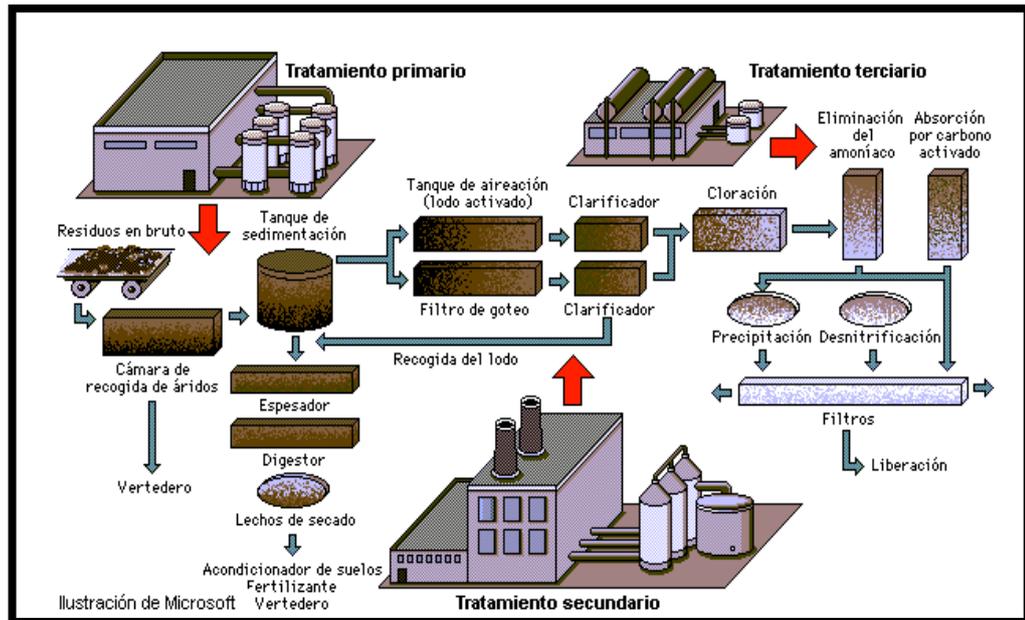


Figura 2.15: Tratamiento de agua residual (SPENA GROUP, 2018)

- Tratamiento primario** (asentamiento de sólidos):

 - Remoción de sólidos.
 - Remoción de arena.
 - Tanque de sedimentación primaria en la planta de tratamiento rural.
 - Sedimentación. (SPENA GROUP, 2018)
- Tratamiento secundario** (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente):

 - Fangos activos.
 - Camas filtrantes (camas de oxidación).
 - Sedimentación secundaria. (SPENA GROUP, 2018)
- Tratamiento terciario** (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección):

 - Filtración.
 - Lagunaje.
 - Tierras húmedas construidas.
 - Remoción de nutrientes.
 - Desinfección. (SPENA GROUP, 2018)
- Tratamiento químico:**

 - Este paso es usualmente combinado con procedimientos para remover sólidos como la filtración.
 - Eliminación del hierro del agua potable.
 - Eliminación del oxígeno del agua de las centrales térmicas.
 - Eliminación de los fosfatos de las aguas residuales domésticas.
 - Eliminación de nitratos del agua residual doméstica y procedentes de la industria. (SPENA GROUP, 2018)

- **Tratamiento biológico:**

Lechos oxidantes o sistemas aeróbicos.

Post – precipitación.

Liberación al medio de efluentes, con o sin desinfección según las normas de cada jurisdicción. (SPENA GROUP, 2018)

- **Tratamiento físico químico:**

Remoción de sólidos.

Remoción de arena.

Precipitación con o sin ayuda de coagulantes o floculantes.

Separación y filtración de sólidos, el agregado de cloruro férrico ayuda a precipitar en gran parte a la remoción de fósforo y ayuda a precipitar biosólidos. (SPENA GROUP, 2018)

3. MARCO METODOLÓGICO



Figura 3.1: Maqueta del Sistema de control de PH de agua tratada

En la figura 3.1, se muestra la maqueta del sistema de control de PH de agua tratada el cual consta de las siguientes partes:

- 1) **TQ1** : Tanque de agua tratada
- 2) **PHE1** : Sensor de PH
- 3) **TE1** : Sensor de temperatura RTD PT00
- 4) **LE1** : Sensor de nivel ultrasónico HC- SR04
- 5) **AG** : Agitador con motor de 12 VDC
- 6) **VA AC** : Válvula solenoide ácido 12 VDC
- 7) **TQ2** : Tanque de solución ácida
- 8) **P1** : Bomba de recirculación de ácido

- 9) **P2** : Bomba de ácido
- 10) **TQ3** : Tanque de solución alcalina
- 11) **VA BA**: Válvula solenoide alcalino de 110 Vac.
- 12) Tablero Eléctrico de control y fuerza
- 13) PC + LabView y Arduino

3.1. Descripción del proceso

Una vez que se arranca el proceso, se produce la medición de temperatura por medio del sensor RTD tipo pT100 el cual está en serie con una resistencia de 100 Ohmios para poder transformarlo a voltaje y que vaya a la entrada del Arduino a su vez sea interpretado por el Software LabView.

Así mismo el sensor de nivel ultrasónico HC- SR04 mide la altura del agua del tanque TQ1. Dicha señal va a la entrada del Arduino. La lectura del PH se realiza por medio del sensor de PH Arduino la cual emite una salida de 0 a 5 Voltios DC según el nivel de PH del agua. Si el agua tiende a ser ácida el voltaje tiende a ser 0, caso contrario si el agua tiende a ser alcalina el voltaje se guiará a los 5 voltios.

El agitador AG va a estar activado todo el tiempo desde el arranque del programa así como la bomba de recirculación P1. Esto es para tratar de mantener homogénea la lectura del PH y la temperatura del agua tratada en el TQ1.

Primero se ajusta el punto de consigna (setpoint) del PH que se desea, el cual por lo general es de valor 7 para que el agua de una planta de tratamiento sea neutra y no cause perjuicios al medio ambiente.

El control Fuzzy hace que si el PH esta sobre el setpoint y se active en forma proporcional la bomba de ácido P2 hasta que el agua se mantenga aproximadamente neutra. Por el contrario si el agua está por debajo del setpoint, la válvula solenoide VA BA se acciona para que entregue una solución alcalina hacia el tanque TQ1 y así el agua se haga más básica hasta llegar a ser neutra.

3.2. Tablero eléctrico de control y fuerza



Figura 3.2: Tablero eléctrico de control y fuerza

En la figura 3.2, se muestra la parte exterior del tablero de control y fuerza en donde se aprecia los pulsadores de inicio y paro, así como las luces piloto de las bombas P1, P2, Agitador, solenoide 1 y solenoide 2.



Figura 3.3: Parte interior del tablero eléctrico de control y fuerza

En la figura 3.3, se aprecia la parte interior del tablero de control y fuerza para el control de PH. Los elementos que los constituyen son:

- 1) Fuente de voltaje DC de 12 Voltios , 10 Amperios
- 2) Fuente de voltaje DC de 5 Voltios , 5 Amperios
- 3) Breaker de 1 polo ,10 Amperios
- 4) Relay de 110 Voltios
- 5) Tarjeta de relays de 8 unidades
- 6) Tarjeta amplificadora del PH
- 7) Tarjeta Arduino UNO
- 8) Tarjeta Arduino MEGA
- 9) Driver puente H 2 Amperios
- 10) Transformador de aislamiento
- 11) Conexión Resistencia 100 ohm

3.3. Medición de nivel del agua

Para la medición del nivel del agua utilizamos el módulo de sensor ultrasónico HC-SR04 el cual consta de cuatro terminales:

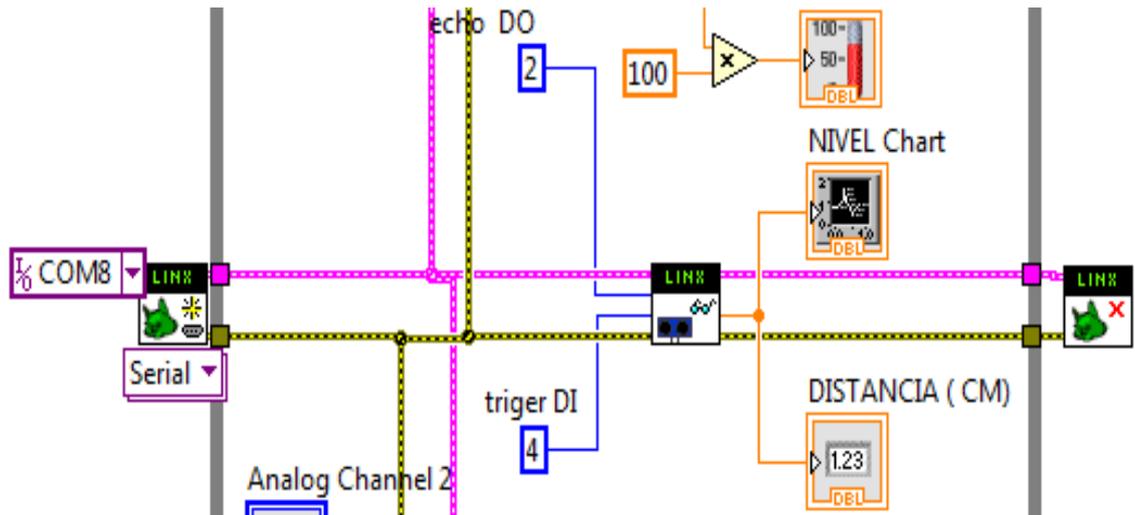


Figura 3.4: Programación con Linx para la medición del nivel del agua

En la figura 3.4, se aprecia la programación con Linx para la medición del nivel del agua por medio del sensor ultrasónico HC- SR04 con las conexiones del **echo**, **trigger** y salida hacia un indicador numérico.

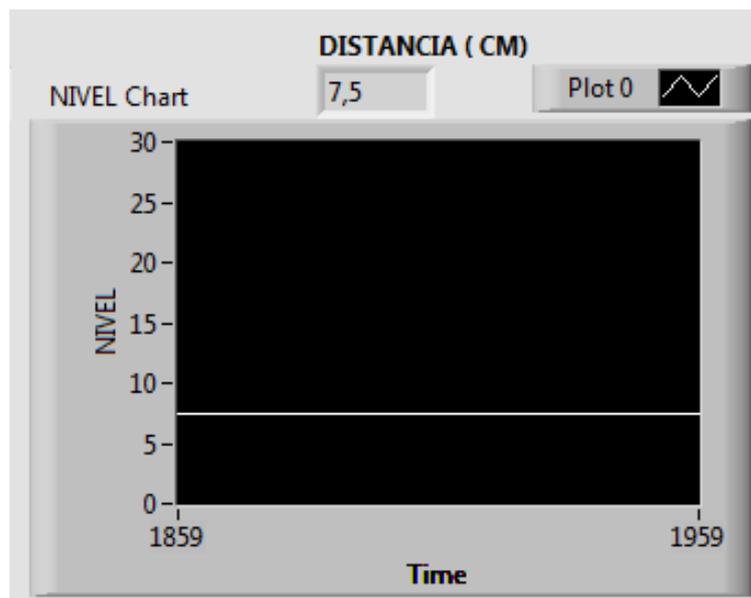


Figura 3.5: Indicación gráfica para la medición del nivel del agua

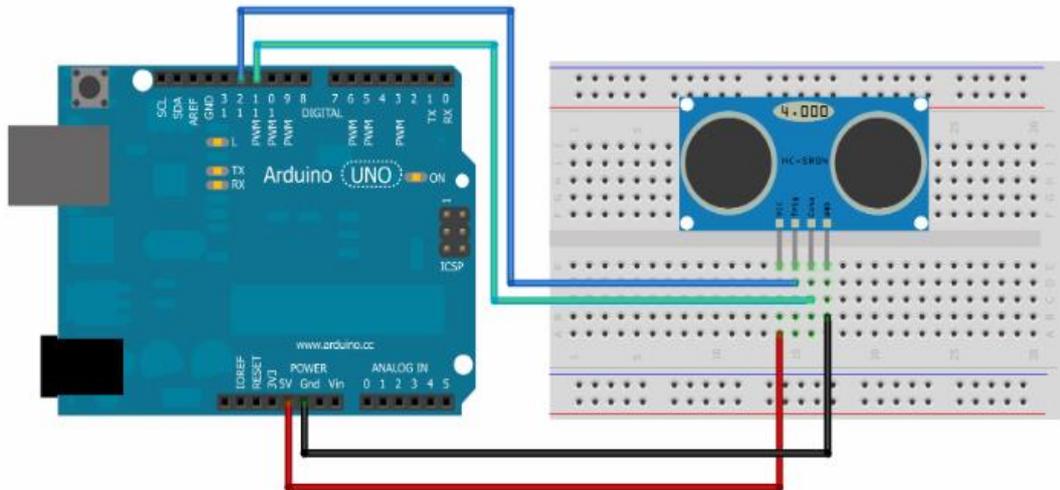


Figura 3.6: Conexión de sensor ultrasónico HC- SR04 con la tarjeta Arduino 1

3.4. Medición ph

Para la realización de pruebas del sensor de PH utilizamos primeramente el código para medición de PH en Arduino el cual se indica en la figura 3.7:

```

Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda
sketch_aug04a $
const byte pin = A0;
float Po;

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  Po = (analogRead(pin)/73.07);
  //Po = map(Po,0, 1023, 0, 14);
  Serial.println(Po);
  delay (1000);
}

```

Figura 3.7: Código para la medición de PH

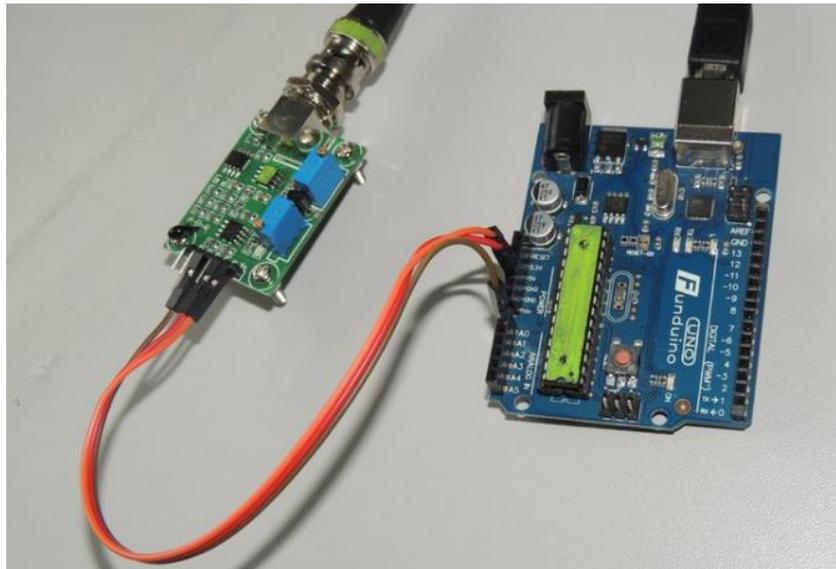


Figura 3.8: Conexión del PHmeter a la tarjeta Arduino UNO

En la figura 3.8, se muestra la conexión del amplificador del sensor de PH a la tarjeta Arduino 1. Básicamente se realiza la conexión de 5 Vdc , GND y la salida analógica de 0 a 5 voltios con la señal de PH.



Figura 3.9: Prueba de medición de PH

En la figura 3.9, se muestra la medición de una solución básica la cual se realiza con la introducción del electrodo en la solución, esta señal es procesada en la tarjeta electrónica amplificadora y la salida es analógica en el rango de 0 a 5 Voltios la cual es conectada en la entrada A2 de la tarjeta Arduino.

3.5. Medición de temperatura del agua tratada



Figura 3.10: Sensor de temperatura RTD tipo Pt100

En la figura 3.10, se muestra el sensor de temperatura utilizado para la medición de los grados centígrados en el tanque TQ1 correspondiente al agua tratada. Para poder enviar voltaje a la entrada del Arduino, se le conectó en serie con una resistencia de 100 Ohmios. La relación que tiene este sensor referente a la temperatura es:

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

Donde R: Resistencia en los terminales del PT100 en Ohmios

R₀: Es la resistencia de referencia del PT100 (100 Ohmios)

α : Es la constante de temperatura = $0.00385 \Omega / ^\circ\text{C} * \Omega$

T: Es la temperatura del medio en donde se realiza la medición.

Para el proyecto la temperatura que tiene fluctúa entre 23 y 30°C ya que se trabajó con la temperatura ambiente, entonces para 23°C la resistencia en los terminales del sensor será:

$$R = 100 \Omega (1 + 0.00385 \Omega / ^\circ\text{C} * \Omega * 23^\circ\text{C}) = 108.85 \Omega$$

Para el caso de la temperatura de 30°:

$$R = 100 \Omega (1 + 0.00385 \Omega / ^\circ\text{C} * \Omega * 30^\circ\text{C}) = 111.55 \Omega$$

3.6. Construcción de la maqueta



Figura 3.11: Tablero de madera para el soporte de la partes

Para la construcción de la maqueta se utilizó estructura metálica y un soporte de madera en donde se colocaron los tanques de agua tratada, solución ácida y alcalina. En la figura 3.11, se aprecia el tablero de madera el cual soporta los tanques y las tuberías para circulación de los productos ácidos y alcalinos.



Figura 3.12: Ubicación de los tanques en el tablero

En la figura 3.12, se muestra la ubicación de los tanques de agua tratada, producto ácido y alcalino los cuales son de acrílico y todos tienen una indicación de nivel tipo regla.

Las capacidades de los tanques son los siguientes:

TQ1 AGUA TRATADA : 15 LITROS

TQ2 SOLUCIÓN ÁCIDA : 15 LITROS

TQ3 SOLUCIÓN ALCALINA: 5 LITROS



Figura 3.13: Ubicación de las tuberías y elementos electropneumáticos

En la figura 3.13, se observa la instalación de las tuberías de PVC, Bombas, conectores, etc. Que se utilizaron en la realización de la maqueta.



Figura 3.14: Construcción de la estructura metálica de la maqueta (a)



Figura 3.15: Construcción de la estructura metálica de la maqueta (b)

En la figura 3.14 y 3.15, se aprecia el proceso de construcción de la estructura la maqueta la cual fue elaborada con hierro negro y tubos cuadrados de $\frac{1}{2}$ pulgada con garruchas en la base para darle facilidad de desplazamiento.

3.7. Elaboración del tablero eléctrico



Figura 3.16: Tablero eléctrico de control y fuerza

En la figura 3.16, se encuentra el tablero de control y fuerza el cual fue elaborado en una caja metálica.

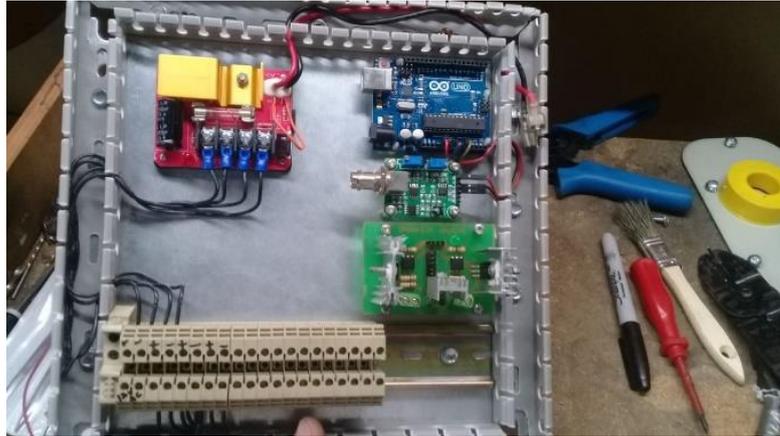


Figura 3.17: Elementos internos del tablero de control y fuerza

En la figura 3.17, se observan los elementos internos del tablero de control y fuerza como son un Arduino Uno y MEGA, tarjetas de relé de 5 voltios DC, drivers (Puente H) para las bombas de circulación y de ácido, fuentes de 12 y 5 V DC.

3.8. Sistema de control con LabView

Para realizar la comunicación entre el Software LabView y la Planta se utilizó la herramienta LINX:

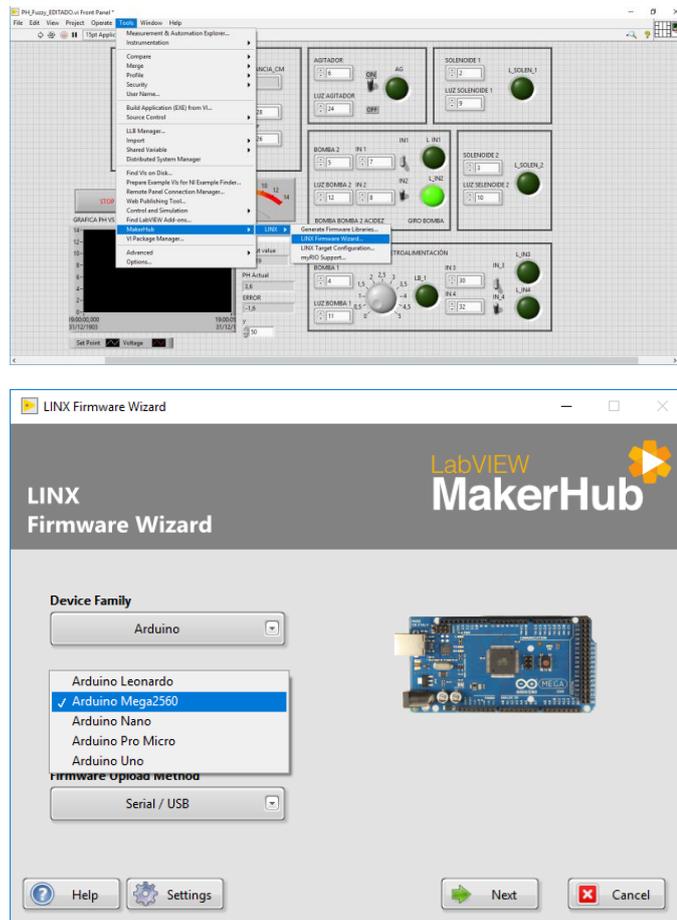


Figura 3.18: Parametrización para la comunicación de Arduino con LabView a través de Linx

Con clic derecho en la ventana de diagrama de bloques se despliega una lista la cual se debe escoger **Instrument I/O>Serial>Visa Configure Port**.

Visa Configure Port: Inicializa el puerto serie especificado por el nombre del recurso VISA a la configuración especificada. Conecta los datos a la entrada del nombre del recurso VISA para determinar la instancia polimórfica a utilizar o seleccionar manualmente la instancia.

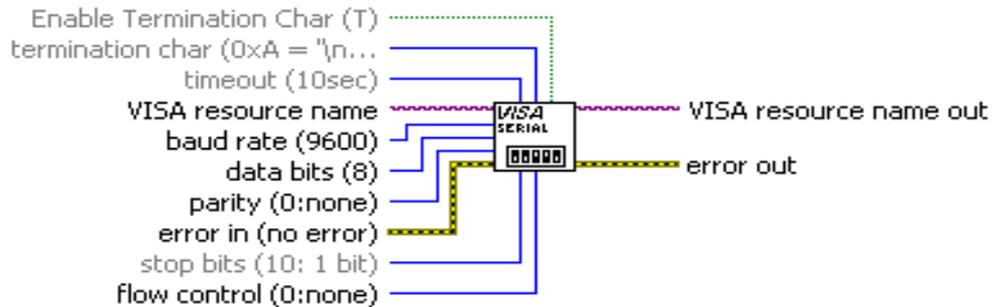


Figura 3.19: VI VISA para comunicación del Arduino con LabView.

Con clic derecho en la ventana de diagrama de bloques se despliega una lista la cual se debe seleccionar **Instrument I/O>Visa >Visa Read**.

Visa Read: Lee el número especificado de bytes del dispositivo o la interfaz especificada por el nombre del recurso VISA y devuelve los datos en el búfer de lectura.

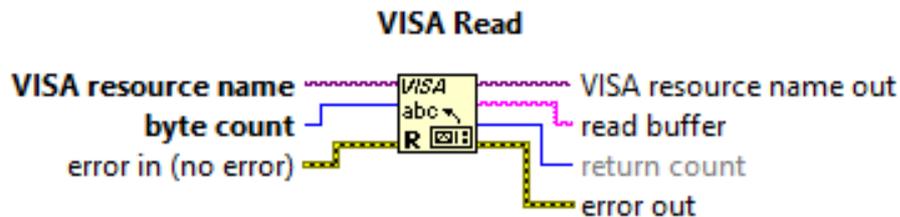


Figura 3.20: VISA Read

Con clic derecho en la ventana de diagrama de bloques se despliega una lista la cual se debe seleccionar **Instrument I/O>Visa >Advanced>Visa PropertyNode**.

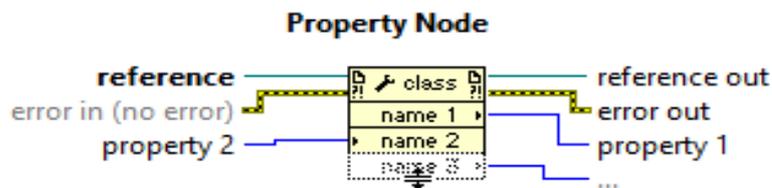


Figura 3.21: PropertyNode

Con clic derecho en la ventana de diagrama de bloques se despliega una lista la cual se debe seleccionar:

Programming>String>Number/StringConversion>Fract/ExpString To Number.

Fract/ExpString To Number: Interpreta los caracteres del 0 al 9, más, menos, e, E y el punto decimal (generalmente punto) en la cadena que comienza en el

desplazamiento como un número de punto flotante en notación de ingeniería, formato exponencial o fraccional y lo devuelve en número.

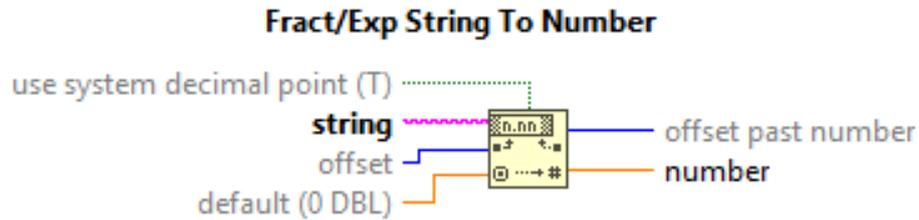


Figura 3.22: Fract/Exp String To Number

Con clic derecho en la ventana de diagrama de bloques se despliega una lista la cual se debe seleccionar **Instrument I/O>Serial >Close**.

Close: Cierra una sesión de dispositivo o un objeto de evento especificado por el nombre del recurso VISA.

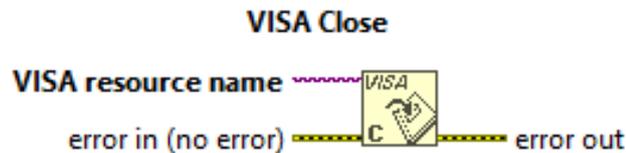


Figura 3.23: VISA Close

3.9. Linx - puertos de configuración

Linx Open: Abre una conexión en serie a un dispositivo LINX remoto (Figura 3.24)



Figura 3.24: Linx Open

Linx Digital Write: Escribe valores en los canales de salida digital especificados. (Figura 3.25)



Figura 3.25: Linx Digital Write

Set DutyCycle: Establece el ciclo de trabajo de los canales PWM especificados. Un ciclo de trabajo de 0 corresponde al 0% activado y un ciclo de trabajo de 1 corresponde al 100% activado.

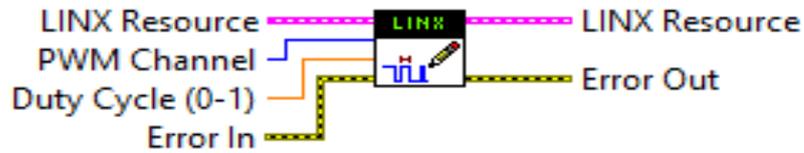


Figura 3.26: Set Duty Cycle

AnalogRead: Lee el valor del canal de entrada analógico especificado.

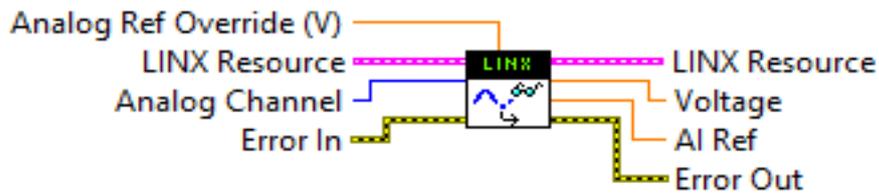


Figura 3.27: Analog Read

3.10. Realización del control difuso con Labview

Para la creación del control Difuso será necesario la herramienta “Fuzzy System Designer” (figura ----) el cual se encuentra en la barra de herramientas (Tools) del panel frontal, seleccione Control Diseño y Simulación y escoge el Sistema Difuso.

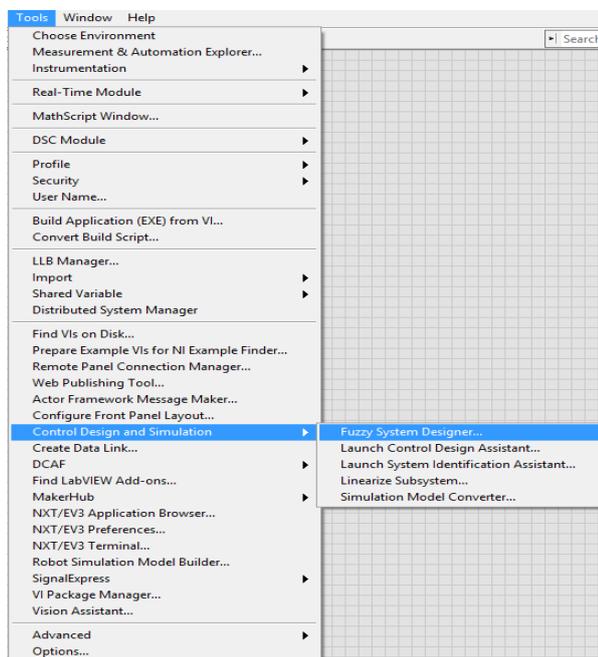


Figura 3.28: Fuzzy System Designer

Después se abre una ventana donde se puede diseñar el sistema Fuzzy, nos permite crear las funciones de membresía, variables de entrada (Input variables) y variables de salida (Output variables).

Para crear nueva variable de entrada seleccionamos en >  añadir variable de entrada (Add Input Variable)

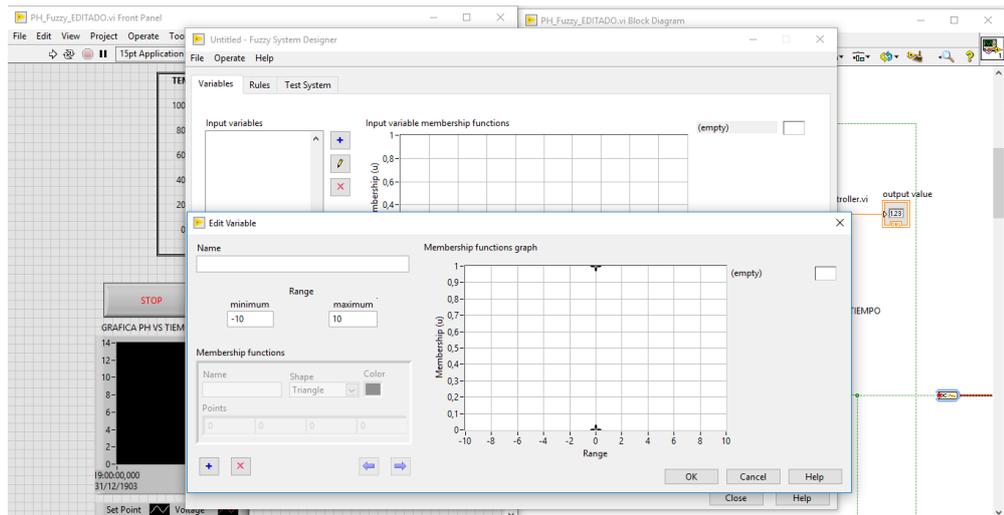


Figura 3.29: Funciones de membresía para el Fuzzy

Name: Error PH
 Range: -14 a 14
 Función de membresía:
 Name: PA > Poco Ácido
 Gráfico: Triángulo
 Rangos: [0, 1.75, 3.5]

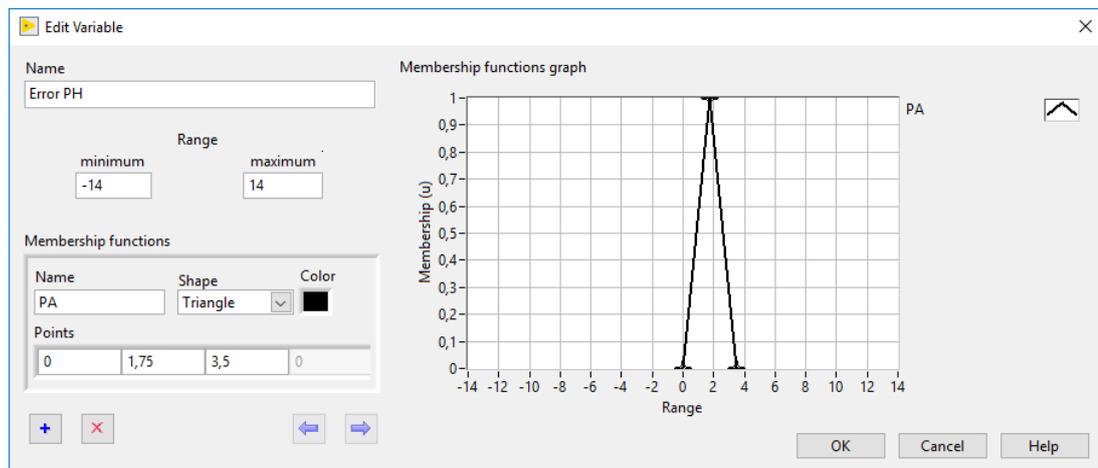


Figura 3.30: Función de membresía PA (Poco Ácido)

Función de membresía:
 Name: MA > Medio Ácido
 Gráfico: Triángulo
 Color: Amarillo
 Rangos: [3.5, 5.25, 7]

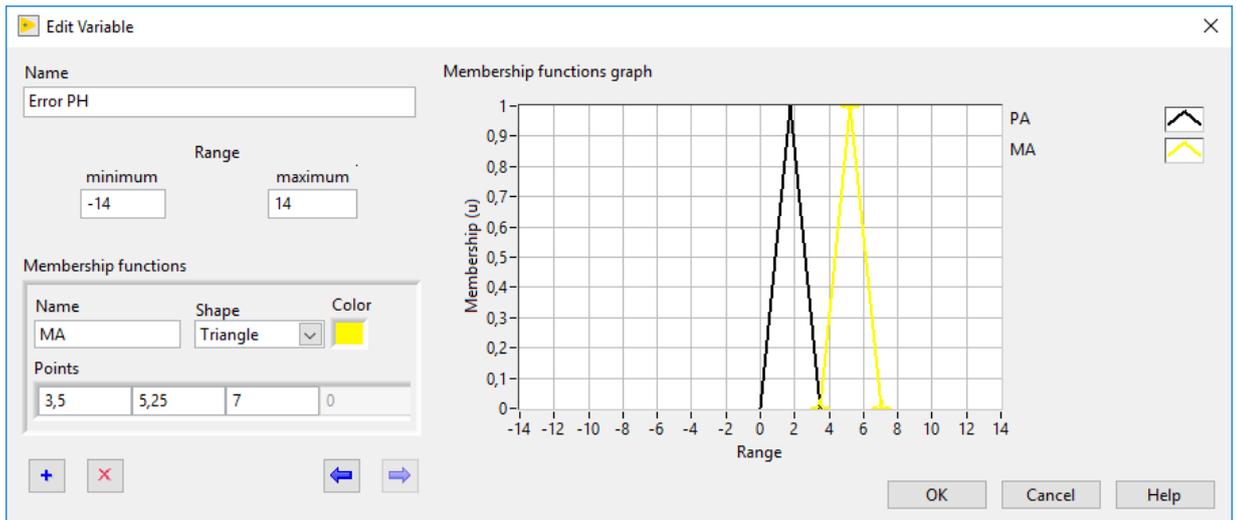


Figura 3.31: Función de Membresía MA (Medio Ácido)

Función de membresía:
 Name: ALA > Alto Ácido
 Gráfico: Triángulo
 Color: Azul
 Rangos: [7, 8.75, 10.5]

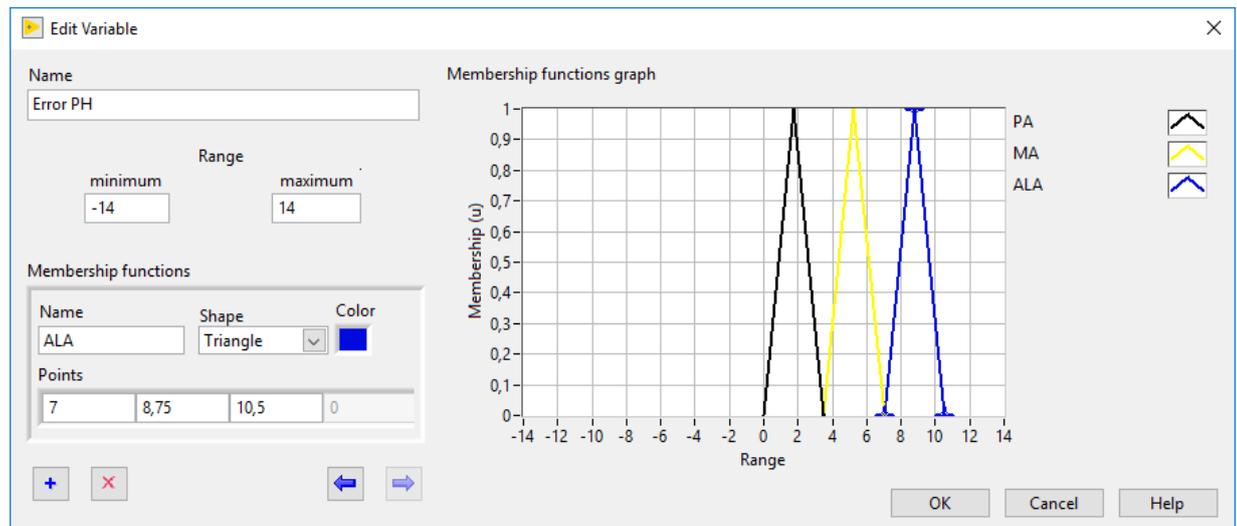


Figura 3.32: Función de Membresía ALA (Alto Ácido)

Función de membresía:
 Name: AA > Ácido Ácido = Límite de acidez
 Gráfico: Triángulo
 Color: Verde
 Rangos: [10,5; 12,25; 14]

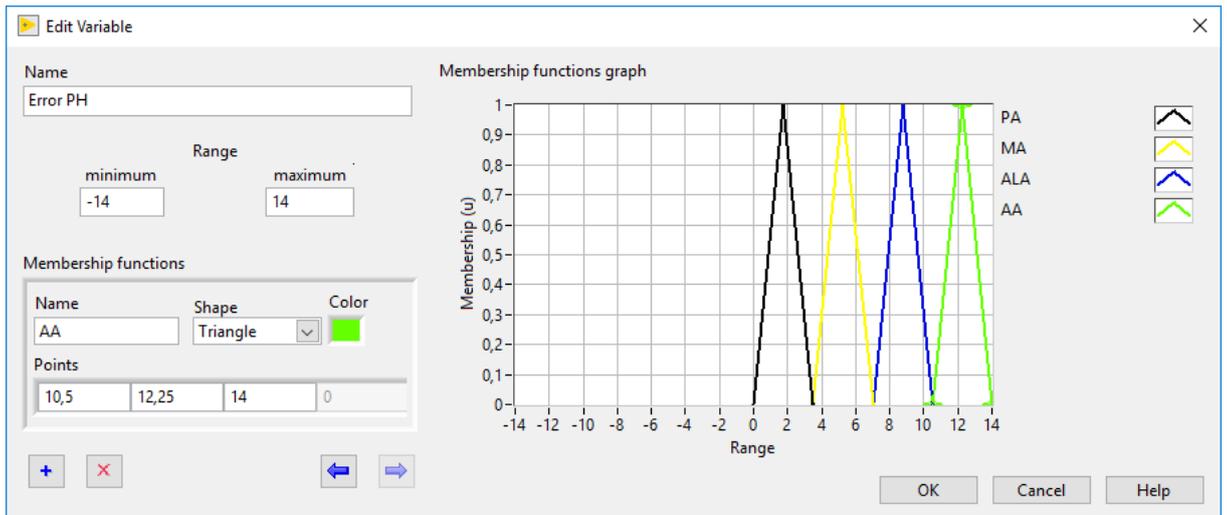


Figura 3.33: Función de Membresía AA (Ácido Ácido)

Función de membresía:
 Name: PB > Poca base
 Gráfico: Triángulo
 Color: turquesa
 Rangos: [-3,5; -1,75; 0]

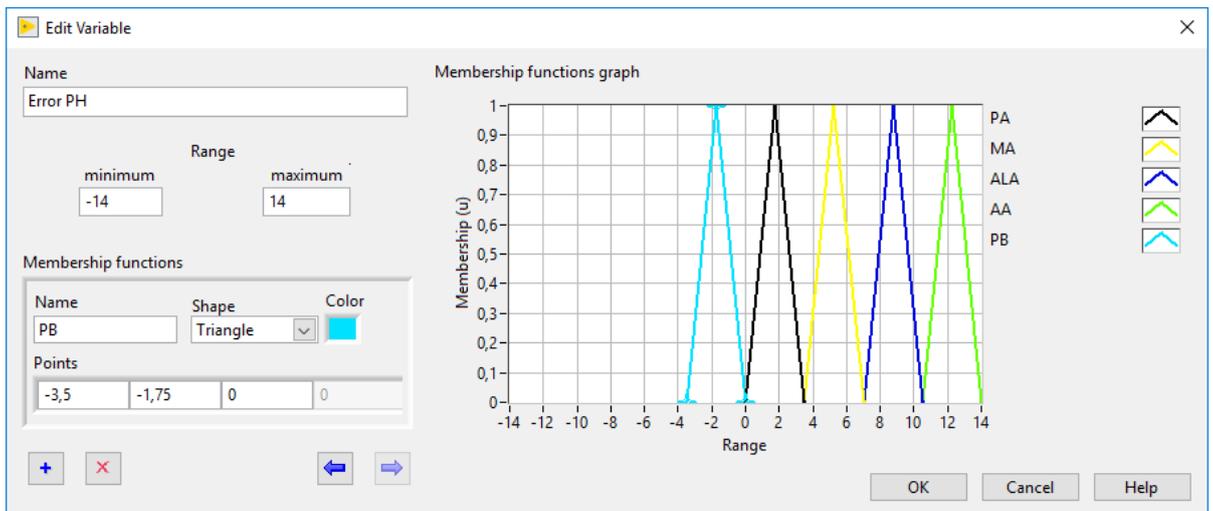


Figura 3.34: Función de Membresía PB (Poca Base)

Función de membresía:
 Name: MB > Media base
 Gráfico: Triángulo
 Color: turquesa
 Rangos: [-7; -5,25; -3,5]

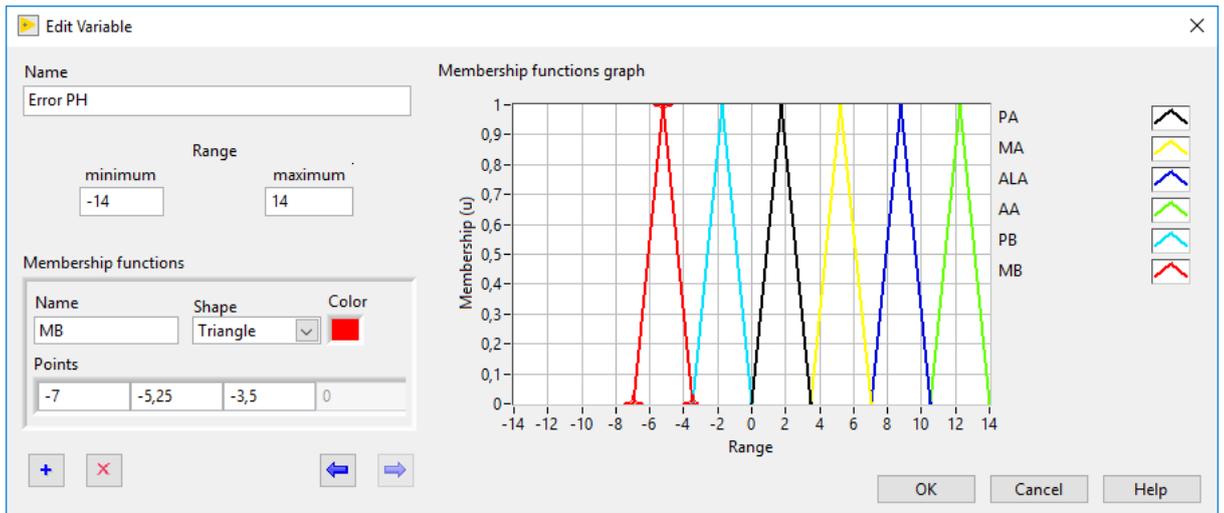


Figura 3.35: Función de Membresía PB (Poca Base)

Función de membresía:

Name: ALB >Alta base

Gráfico: Triángulo

Color: Café

Rangos: [-10,5; -8,75; -7]

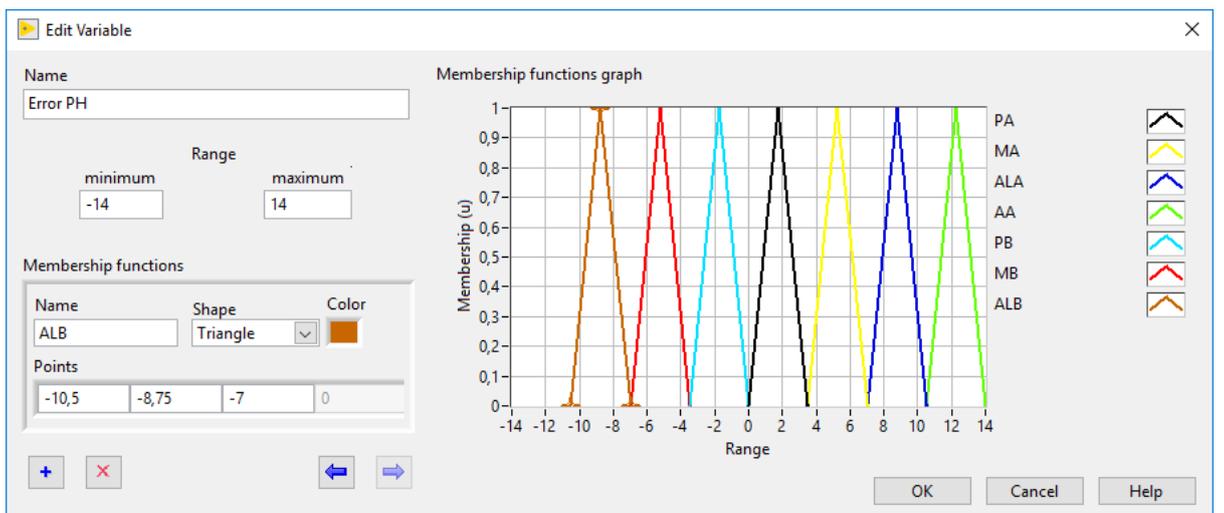


Figura 3.36: Función de Membresía ALB (AltaBase)

Función de membresía:

Name: BB >Base Base = límite de base

Gráfico: Triángulo

Color: Verde

Rangos: [-14; -12,25; -10]

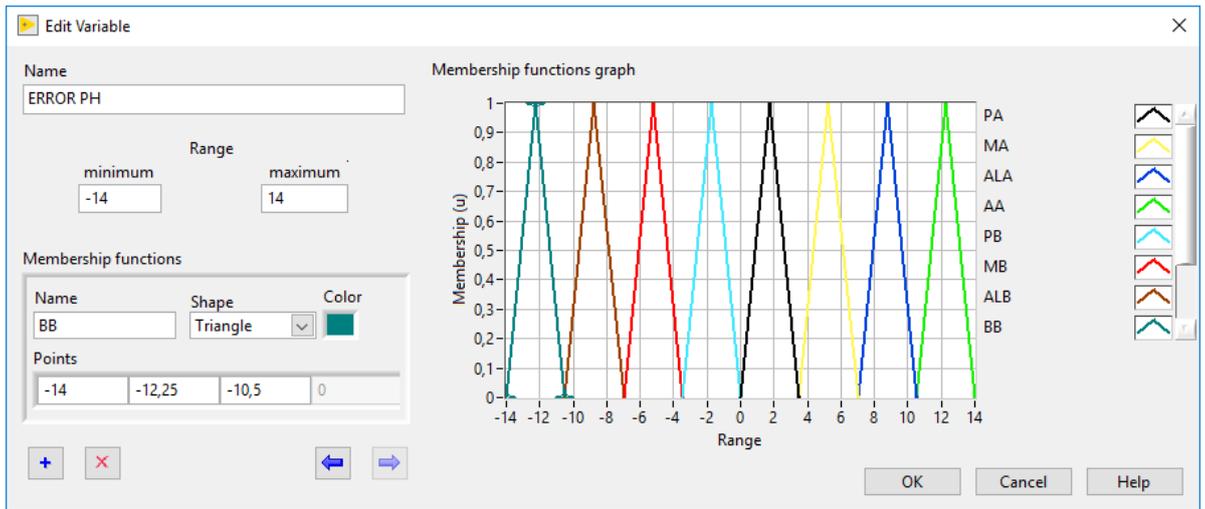


Figura 3.37: Función de Membresía BB (Base Base)

VOUT

FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Name: VCERO

Gráfico: Triángulo

Color: Negro

Rango: [0, 0, 0]

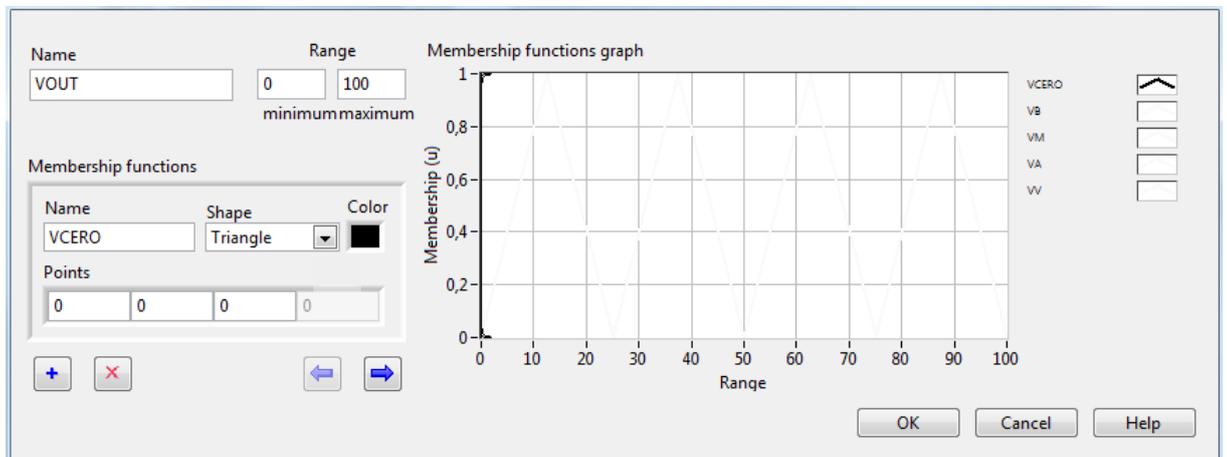


Figura 3.38: Función de Membresía VCERO (Voltaje Cero)

FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Name: VB

Gráfico: Triángulo

Color: Amarillo

Rango: [0; 12,5; 25]

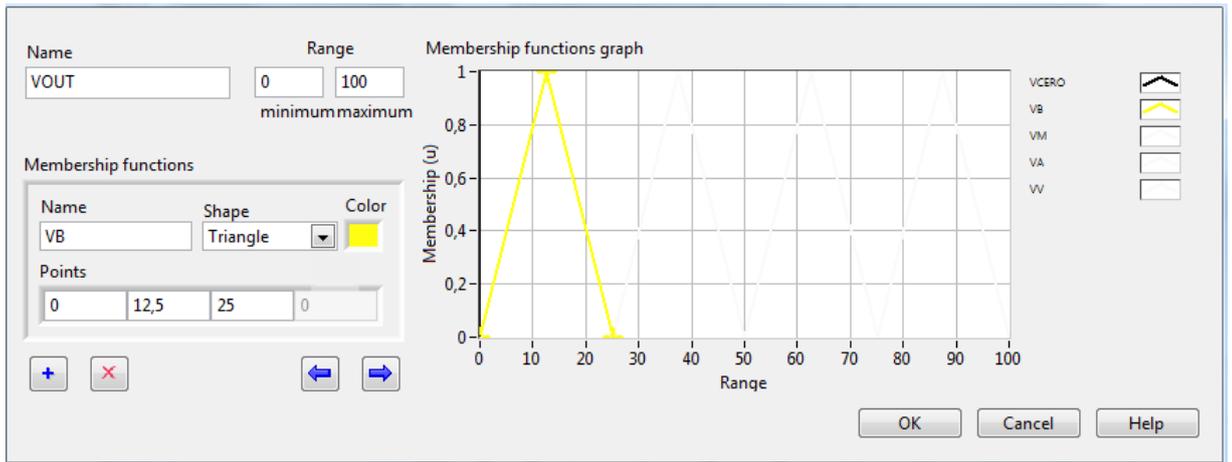


Figura 3.39: Función de Membresía VB (Voltaje Bajo)

FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Name: VM

Gráfico: Triángulo

Color: Verde

Rango: [25; 37,5; 50]

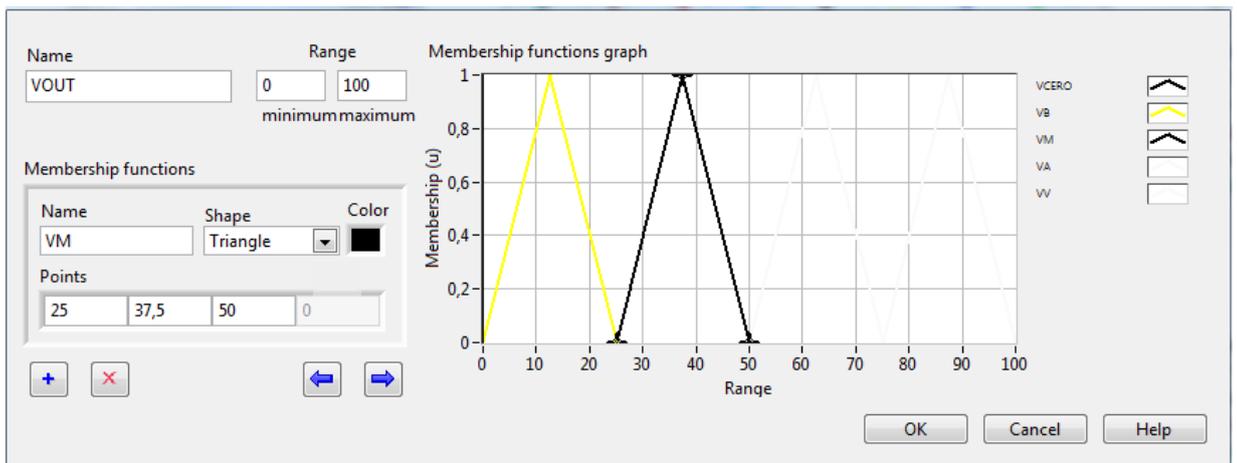


Figura 3.40: Función de Membresía VM (Voltaje Medio)

FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Name: VA

Gráfico: Triángulo

Color: Rosado

Rango: [50; 62,5; 75]

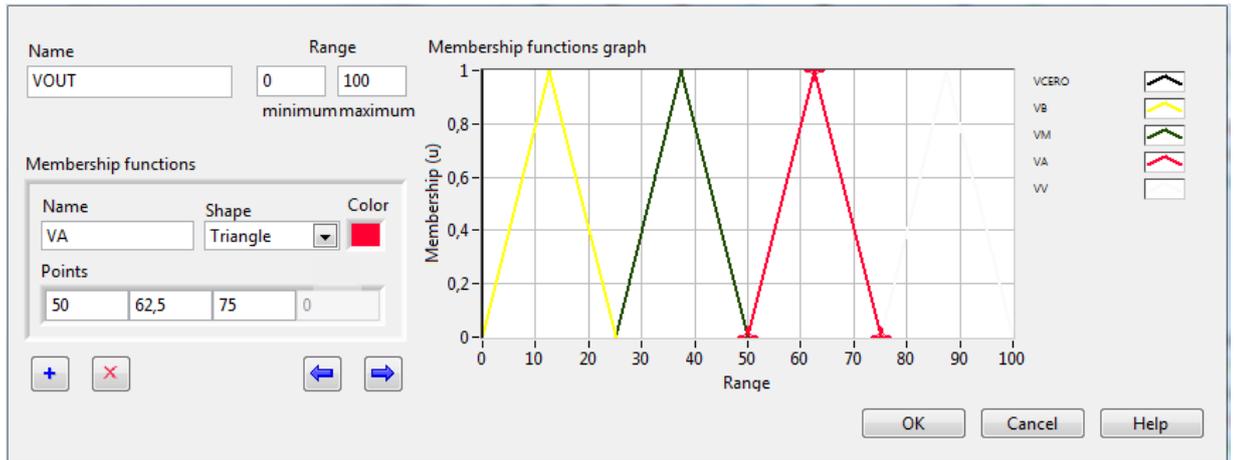


Figura 3.41: Función de Membresía VA (Voltaje Alto)

FUNCIÓN DE MEMBRESÍA

Name: VV

Gráfico: Triángulo

Color: Verde Claro

Rango: [75; 87,5; 100]

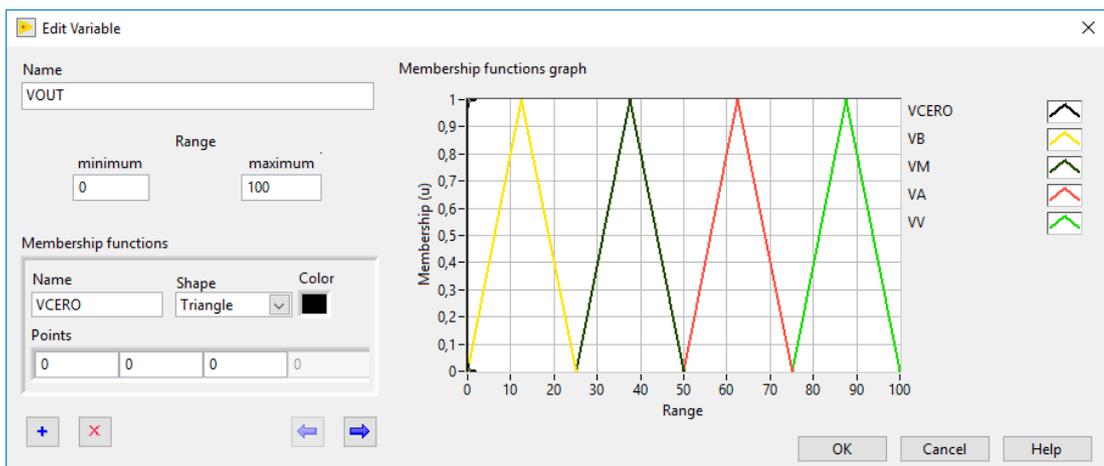


Figura 3.42: Función de Membresía VA (Voltaje Voltaje)

3.11. Reglas para el sistema difuso

A continuación se detallan las reglas utilizadas para relacionar las entradas con las salidas según sea el caso y la aplicación:

- IF ERROR PH IS BB THEN VOUT IS VV: Esto indica que cuando la medición de PH es demasiado básica, entonces la velocidad de la bomba de ácido debe estar entre el 75 y 100%.
- IF ERROR PH ES ALB THEN VOUT IS VA: Si la medición de PH es alta entonces la velocidad de la bomba de ácido debe estar entre el 50 y 75%.

- IF ERROR PH IS PB THEN VOUT IS MB: Esto indica que si la medición de PH es media básica, entonces la velocidad de la bomba de ácido debe estar entre el 25 y el 50 %.
- IF ERROR PH IS PB THEN VOUT IS PB: Esto indica que si la medición de PH es poco básica, entonces la velocidad de la bomba de ácido debe estar entre el 0 y el 25 %.
- IF ERROR PH IS MA, ALA o AA THEN VOUT IS VCERO: Esto indica que si la medición de PH es media, alta o demasiado alta ácida, entonces la velocidad de la bomba de ácido va a ser 0.

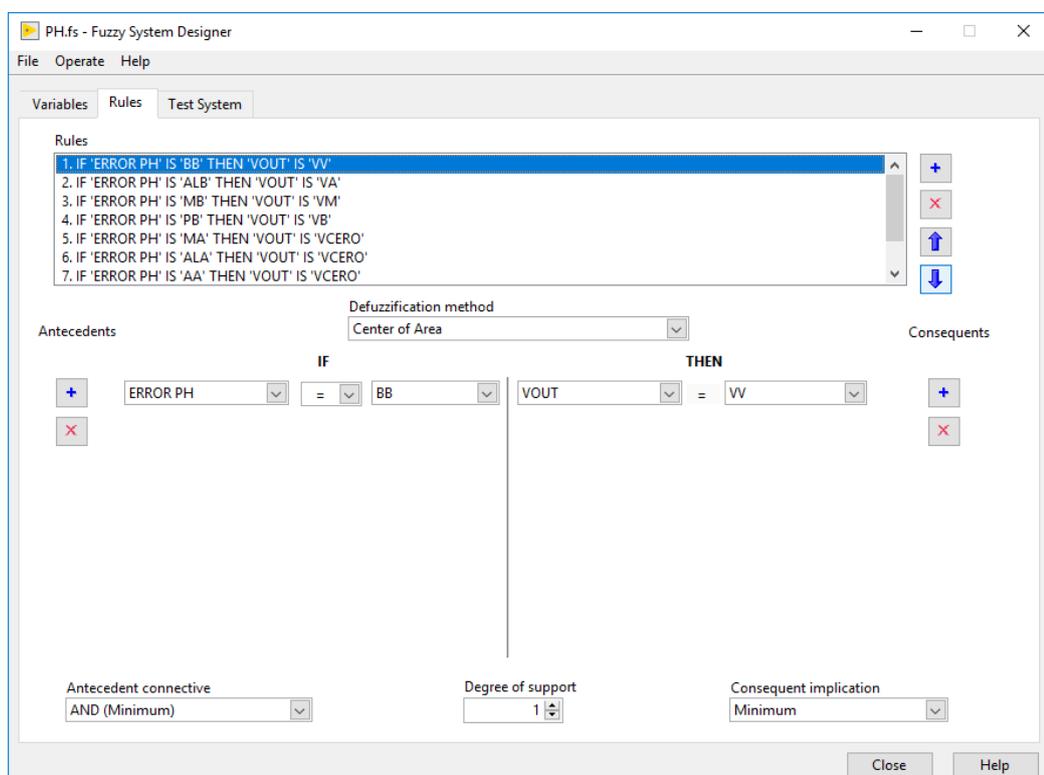


Figura 3.43: Función de Membresía VA (Voltaje Voltaje)

3.11.1. Test del sistema de control Fuzzy

En la pestaña “Test System” se puede observar la evolución de la válvula de salida en base a los cambios en el ERROR PH o entradas de la señal de PH según su rango:

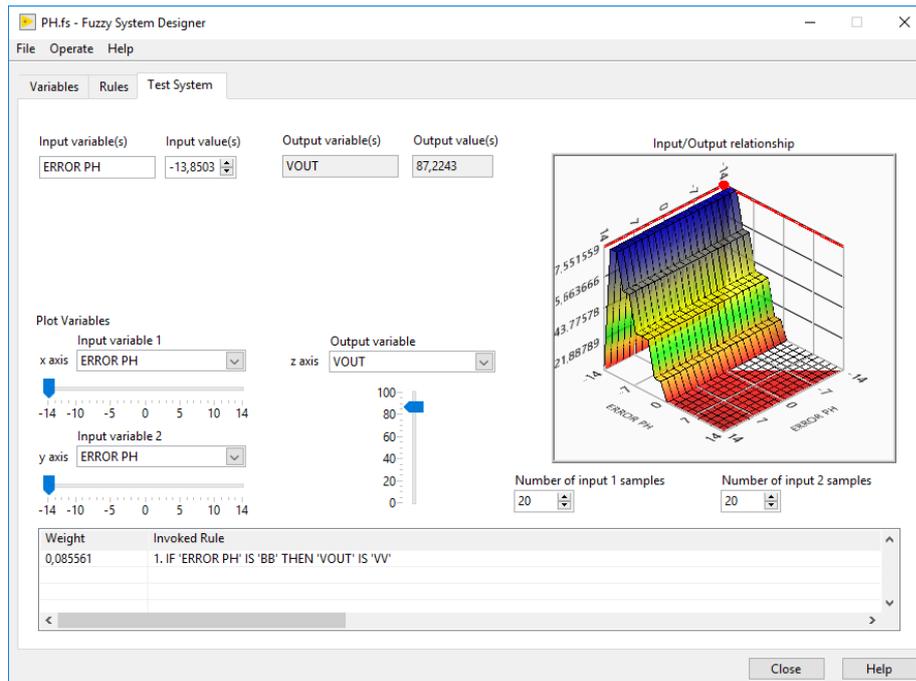


Figura 3.44: Evolución de la valvula de salida

3.12. Programación del Fuzzy en el diagrama de bloques

Para la configuración del control necesitamos de las siguientes herramientas, dentro de la función File se encuentra StripPath y BuildPath las cuales serán necesarias para poder realizar el llamado del archivo .fs previamente creado, se selecciona ambas herramientas (figura 3.45).

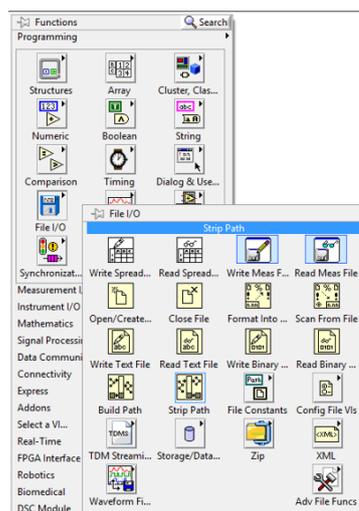


Figura 3.45: Strip Path y Build Path

En StripPathse  el puntero del mouse en la parte izquierda del icono y damos clic derecho y nos ubicamos en la opcion File I/O Palette, seleccionando File Constants y dentro de esa venta se elige Current VI'S (figura 3.46).

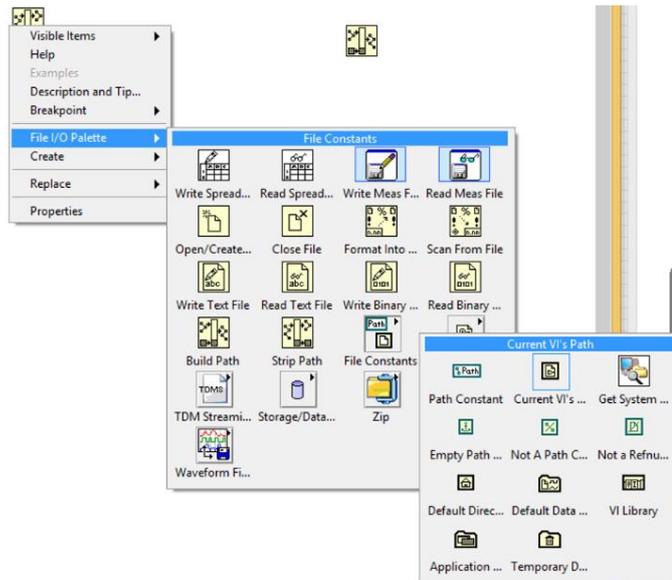


Figura 3.46: Strip Path y Build Path

Una vez que se agrega el Current VI se conecta al StripPath y dicha conexión quedaría de la siguiente forma (figura 47).

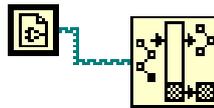


Figura 3.47: Conexión del Current VI

Para el Build Path se crea una constante de la siguiente manera, nos ubicamos en la parte izquierda del icono damos clic derecho y se selecciona Create constant (figura 3.48). Lo siguiente será asignarle a esta constante el nombre con el que guardamos nuestro archivo de reglas y funciones de membresía, nosotros lo llamamos PH.fs (figura 3.48).

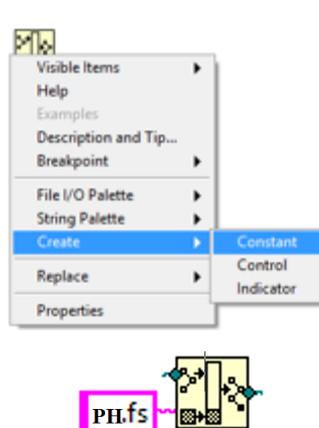


Figura 3.48: Creación de una constante

Siguiendo con el control Difuso, se llama a la herramienta que ayudará a cargar el archivo previamente creado. Para ello hacemos clic derecho en el área del trabajo se selecciona Control Design Simulation, se elige Fuzzy Logic y por último FL Load Fuzzy (figura 3.49).

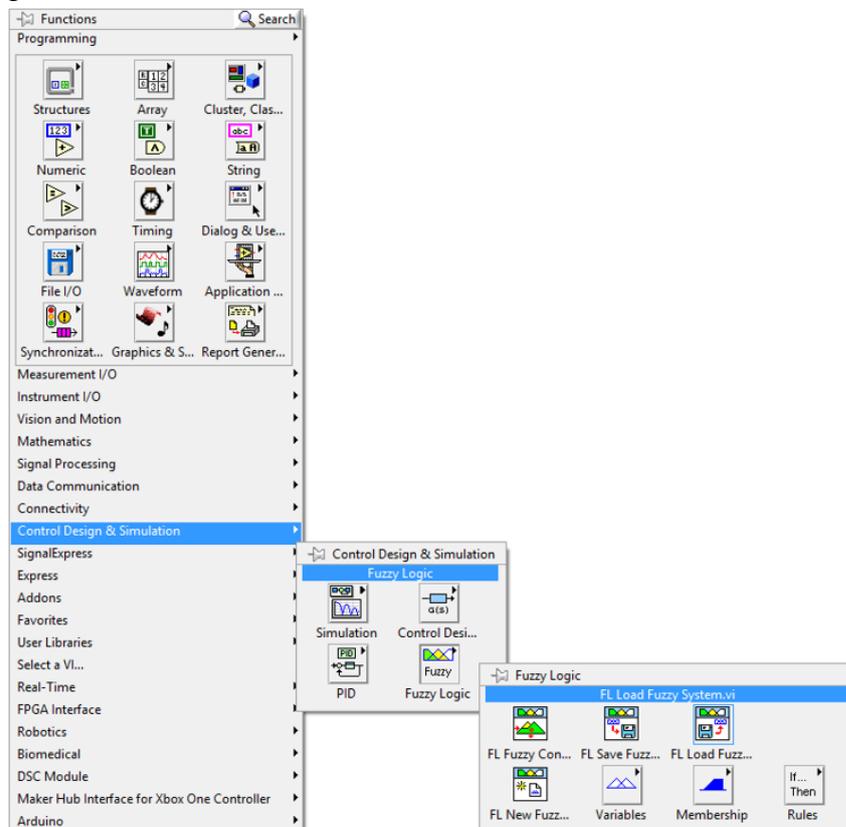


Figura 3.49: Ubicación de la herramienta FL Load Fuzzy

Para crear el bloque de control Fuzzy se hace el mismo procedimiento anterior. Y esta vez seleccionamos FL Fuzzy ControlV (figura 50). Para este control que se está diseñando se implementará un control SISO.

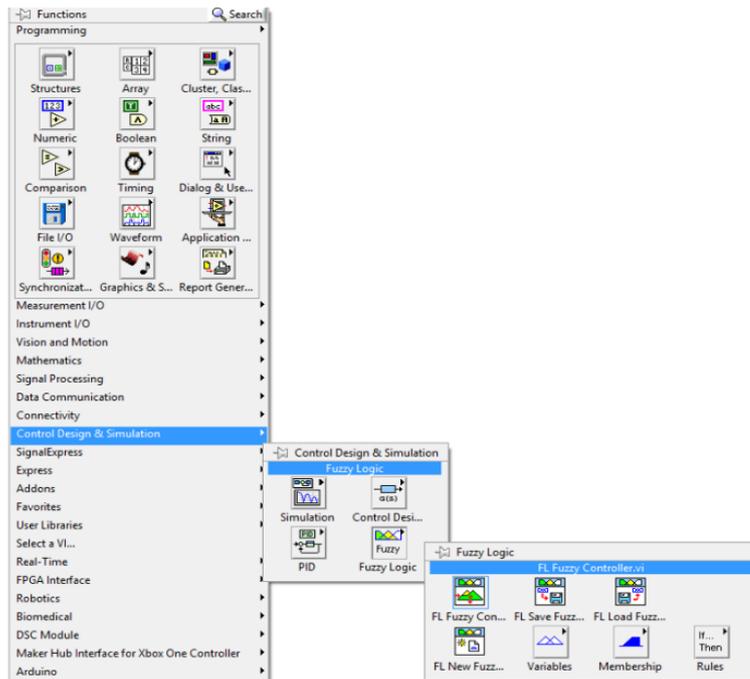


Figura 3.50: Ubicación de la herramienta FL Fuzzy Control

La interconexión de todas las herramientas antes mencionadas y asignadas al **Block Diagram** deberá quedar de la siguiente manera (figura 3.51).

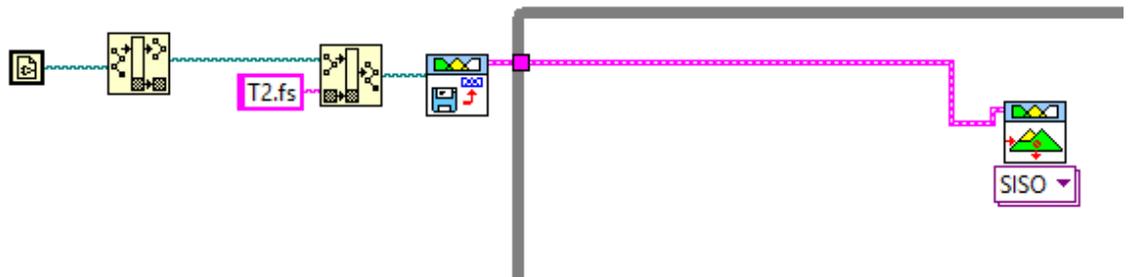


Figura 3.51: Gráfica de conexión

Para que sea posible modificar la entrada del setpoint, se asignó un control numérico y a este será necesario agregar la operación resta (figura 3.52), ya que:

$$\text{ERROR} = \text{SET POINT MENOS EL VALOR ACTUAL.}$$

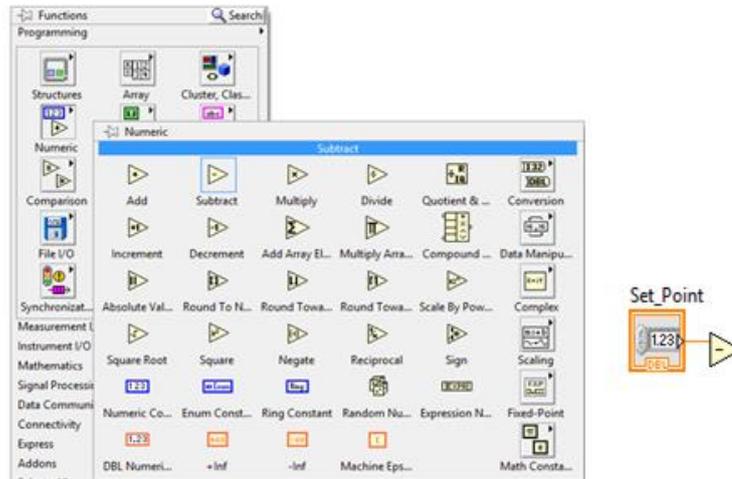


Figura 3.52: Indicación del Set Point

La conexión del controlador Fuzzy se la detalla a continuación (figura 3.53).

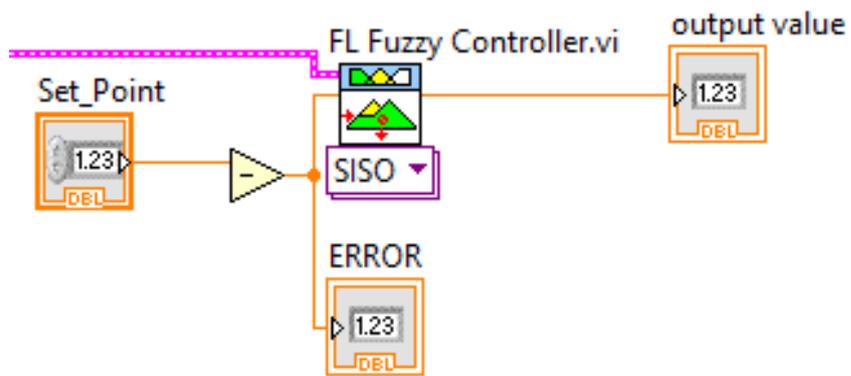


Figura 3.53: Conexión FL Fuzzy Controller

3.13. Programación general del sistema

A continuación se muestra el PANEL FRONTAL del sistema y los Diagramas de Bloques en forma seccionada:

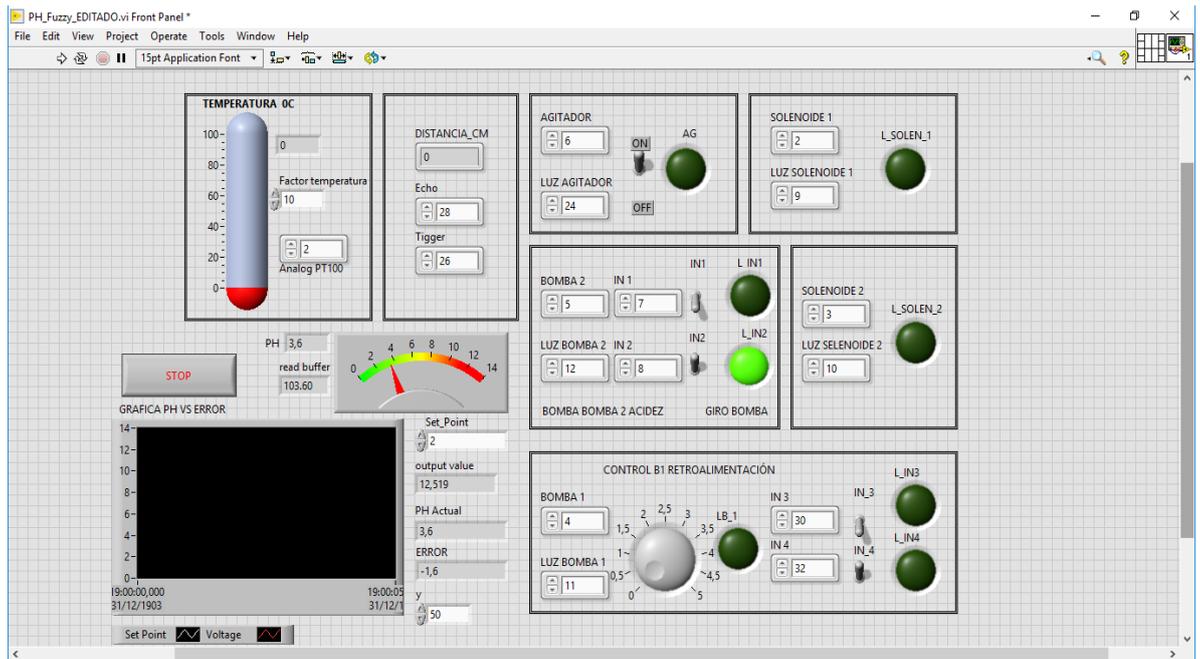


Figura 3.54: Panel Frontal del Proyecto

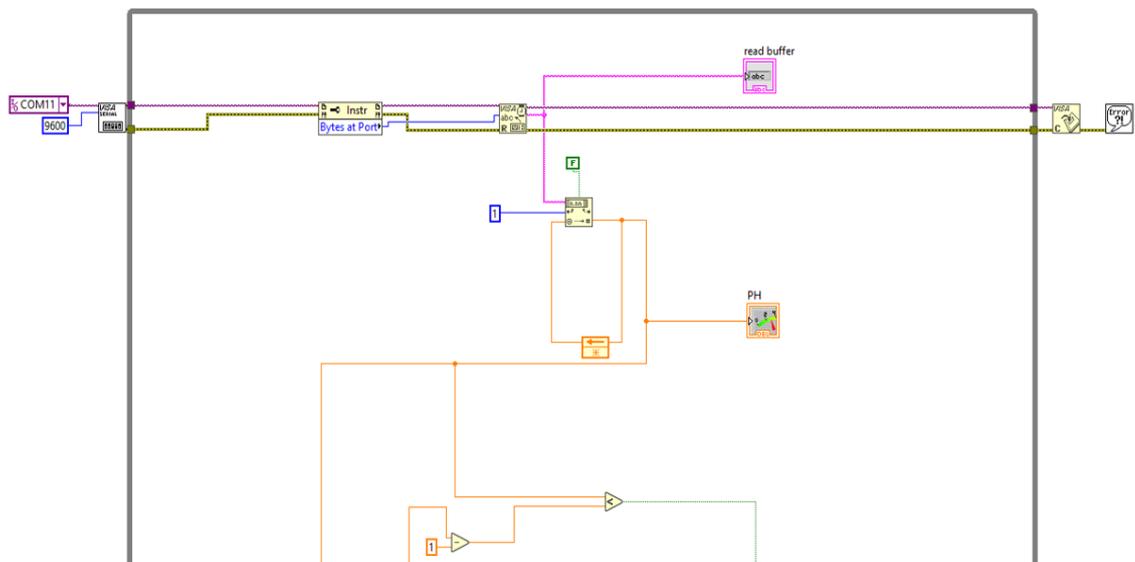


Figura 3.55: Comunicación LabView - Arduino utilizando VISA

En la figura 3.55 se muestra la comunicación del Software LabView con Arduino utilizando VISA y Linx. También se muestra la lectura del sensor de PH la cual va a la entrada analógica 1 del Arduino.

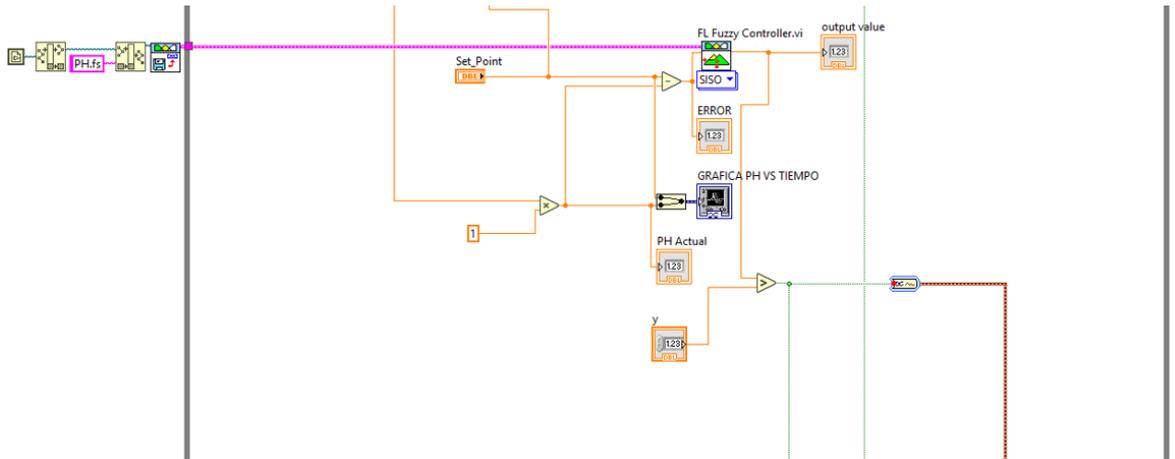


Figura 3.56: Aplicación del control Fuzzy

En la figura 3.56 se indica la aplicación del control Fuzzy en donde se tiene como entrada de proceso, la variación del PH, como consigna el valor que se ubique en el control Set Point. Puesto que solo se está controlando en el Fuzzy la variación de PH y la salida es la bomba de ácido, simplemente necesitamos utilizar la opción SISO (Single input – Single output).

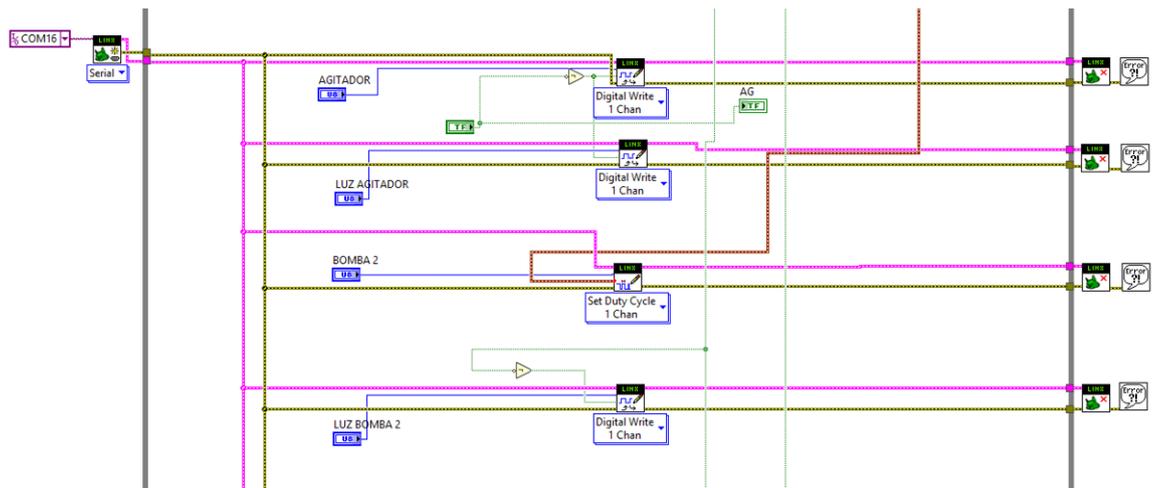


Figura 3.57: Salidas Digitales y PWM

En la figura 3.57 se muestran los controles digitales para el agitador, luz agitador y luz P2 o bomba 2. Así mismo está el control PWM para el accionamiento de P2 o bomba 2 la cual es la del ácido.

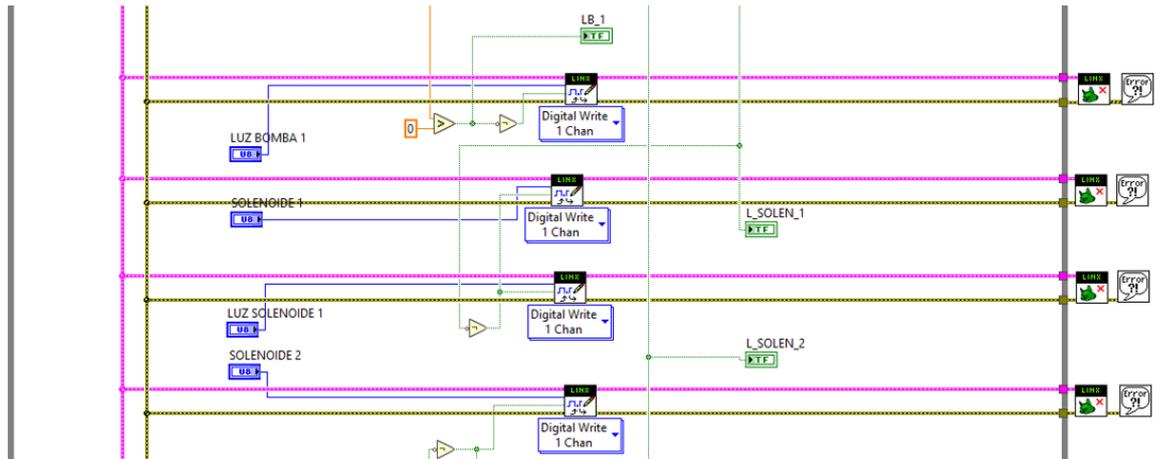


Figura 3.58: Salidas Luces y solenoides

En la figura 3.58 se muestran los controles digitales para la luz P1, luz solenoide 1 y luz solenoide 2, solenoide 1 y solenoide 2.

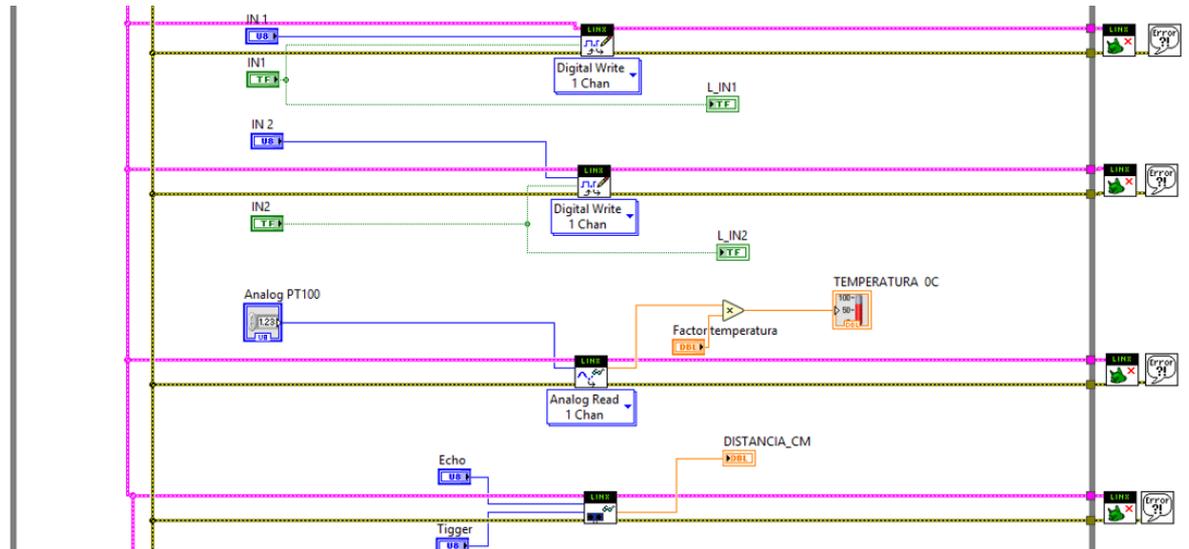


Figura 3.59: Entradas de temperatura y nivel ultrasónico

En la figura 3.59 se muestran los controles para las señales analógica de Temperatura por medio del PT100 y de nivel ultrasónico (Echo y Tigger) HC- SR04.

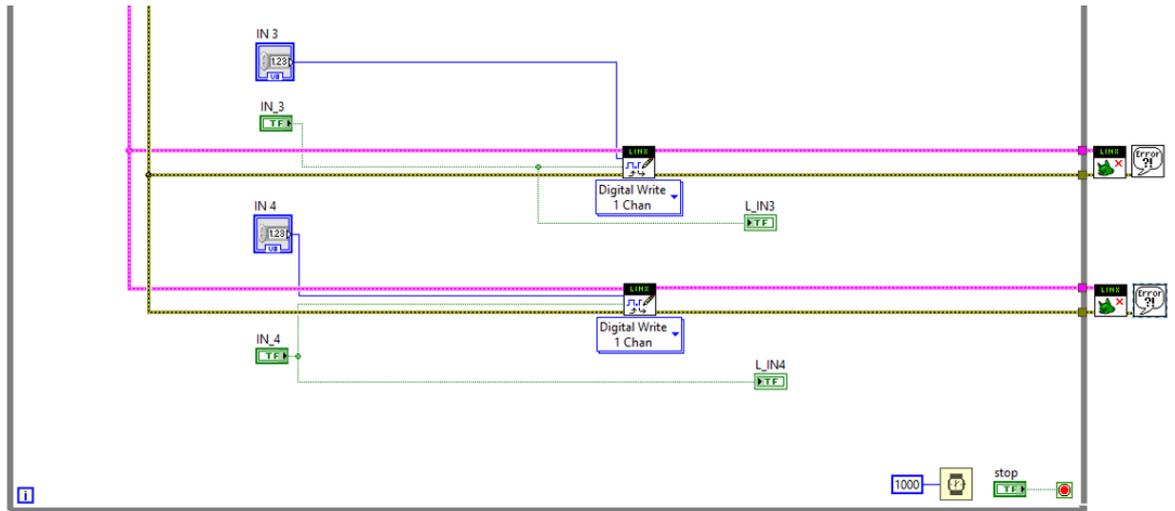


Figura 3.60: Controles digitales para accionamiento de luces y bombas

4 RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos después de la elaboración de la maqueta del control de PH en cuanto a las mediciones de Temperatura, Nivel y control Fuzzy del PH utilizando el Toolkit de LabView:

MEDICIÓN DE TEMPERATURA



Figura 4.1: Toma de lecturas de temperatura del agua tratada

En la figura 4.1, se observa el momento en que se está tomando lecturas de temperatura el depósito de agua tratada y comparándola con un multímetro digital el cual tiene la opción de medición de grados centígrados a través de una termocupla tipo K.

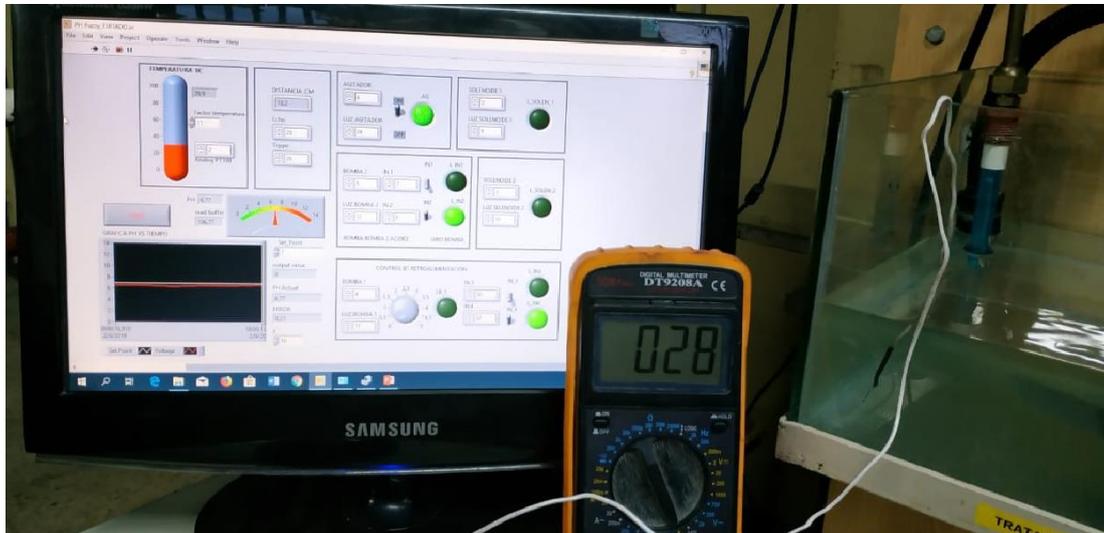


Figura 4.2: Comparación del valor de temperatura indicada en la PC vs. Lectura del multímetro

En la figura 4.2 se muestra la realización de una comparación de temperatura entre la indicación del Scada de LabView con respecto a lo indicado en el multímetro digital. El resultado fue una precisión de $\pm 1^\circ \text{C}$.

MEDICIÓN DE NIVEL



Figura 4.3: Medición de Nivel de agua con un Vernier en comparación con el ultrasónico
En la figura 4.3, se aprecia la lectura del nivel del agua utilizando el instrumento de medida Nonio o Vernier para realizar comparaciones de las lecturas que está dando el nivel ultrasónico HC- SR04.



Figura 4.4: Verificación del Nivel de agua con un Vernier en comparación con el el Valor del Scada

En la figura 4.4 se muestra la medición que se está realizando con un Vernier y comparándolo con el valor de nivel ultrasónico que se muestra en el Scada de LabView. Después de realizar varias pruebas se comprobó que la precisión de estas lecturas de nivel son de ± 0.5 centímetros.

CONTROL DE PH

Como se indicó anteriormente, el control de PH se lo realiza primeramente midiendo el valor del mismo por medio de un electrodo. En el sistema se ajusta un Setpoint que normalmente es de 7 para tener agua neutra. Si el valor de PH es superior al valor del setpoint entonces el control Fuzzy hace que se encienda la bomba de ácido para que este valor se ubique en la consigna dada. Caso contrario si el agua del tanque está bajo el setpoint, se acciona la electroválvula para que ingrese sustancia básica al agua hasta que se llegue al valor deseado.

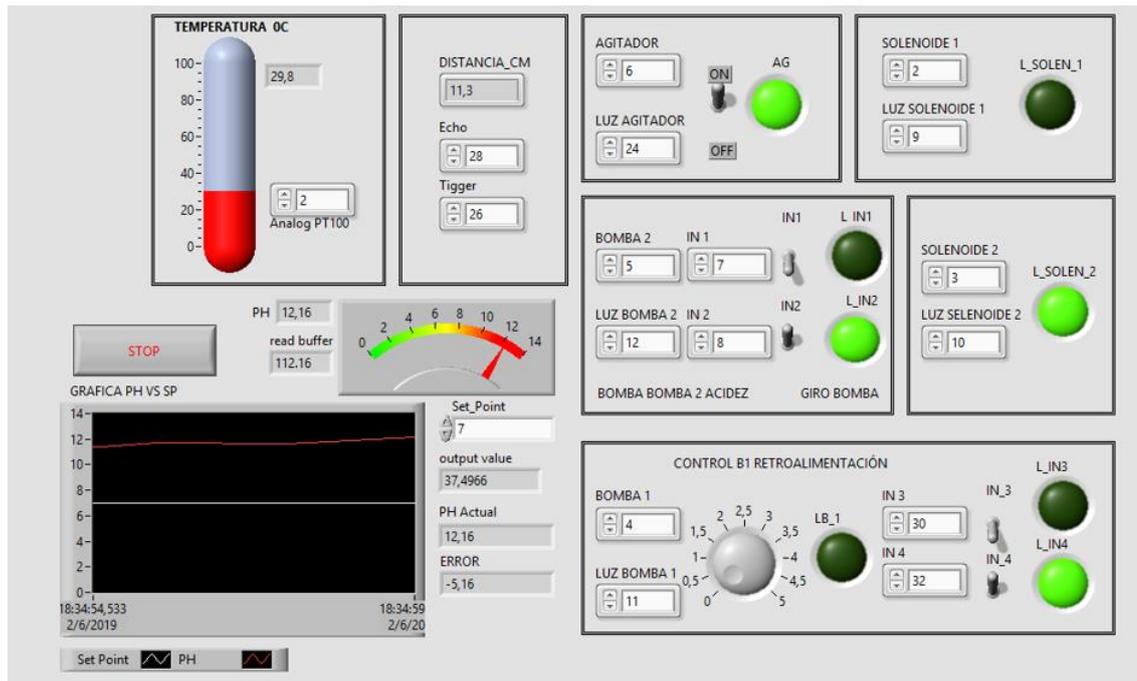


Figura 4.5: Scada del control Fuzzy para PH

En la figura 4.5 se aprecia el Scada del control Fuzzy para PH del agua. Se observa que la consigna o setpoint está para un PH de 7 y el agua tiene un PH de 12, por lo que el control mantiene encendida la bomba de ácido hasta que se aproxime al valor de 7. También está encendido el agitador, la bomba de recirculación y la válvula solenoide que desaloja el ácido.

Tomado lectura del valor de PH y comparándolas con un PHmeter digital se comprobó que la precisión es de ± 0.5 PH.

5. CONCLUSIONES

- Una vez que se realizaron las pruebas de temperatura con un termómetro de referencia, se concluye que la precisión de la lectura de temperatura con el sensor RTD tipo PT100 es de ± 1 ° C.
- Se tuvo que utilizar productos ácidos o básicos que no produzcan ningún tipo de espuma, ya que el sensor de nivel ultrasónico daba lecturas erróneas cuando se producían pequeñas burbujas. Con este cambio se comprobó que la lectura de nivel quedó con una precisión de ± 0.5 centímetros.
- Inicialmente se trabajó con bombas para el ácido y recirculación de 12 Voltios, 4 Amperios, pero esto producía una considerable variación de la lectura del PH cuando pasaba el setpoint y por lo tanto no se realizaba un buen control. Posteriormente se cambió a bombas de 12 Voltios, 2 Amperios con lo que mejoró la lectura y por lo tanto el control.

- Para el diseño del control Difuso se utilizó todo el rango de medición de PH, es decir de 0 a 14 a pesar que el valor deseado solo está alrededor de 7.
- Según la figura 4.5 se observa que la lectura inicial del PH es 12.16 y después de segundos llega al valor seteado de 7, con una precisión de +/- 0.5 PH lo cual es bastante aceptable, con lo que se concluye que el Control Difuso tiene una respuesta rápida y precisa según los rangos que se dieron tanto en la entrada como la salida, así como también se realizaron condiciones acertadas para un buen control.

6. RECOMENDACIONES

- Para que el sistema pueda trabajar completamente en forma automática se sugiere que se adicionen bombas de carga tanto para el ácido como para la base ya que actualmente se lo realiza manualmente.
- El PC en el que se conecte el sistema debe tener por lo menos una frecuencia de reloj de 4.2 GHz, Memoria Caché de 8 MB y memoria RAM de 64 GB, lo que corresponde a una CORE i7, ya que inferiores a estas especificaciones se corre el riesgo de que se inhiba el programa como sucedía anteriormente.
- El electrodo del PH siempre debe estar con un líquido protector mientras no esté en uso, ya que si no empieza a dar lecturas erróneas hasta que posteriormente se dañe.
- Antes de iniciar el proceso se debe limpiar el electrodo para asegurar una buena lectura y por consiguiente un perfecto control.
- Se recomienda trabajar en un rango de setpoint que vaya entre los 6 y 8 PH , ya que si se exagera con valores fuera de este rango se tiene que adicionar más ácido o base y estos se consumirán rápidamente.

7. ANEXOS

ANEXO 1

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

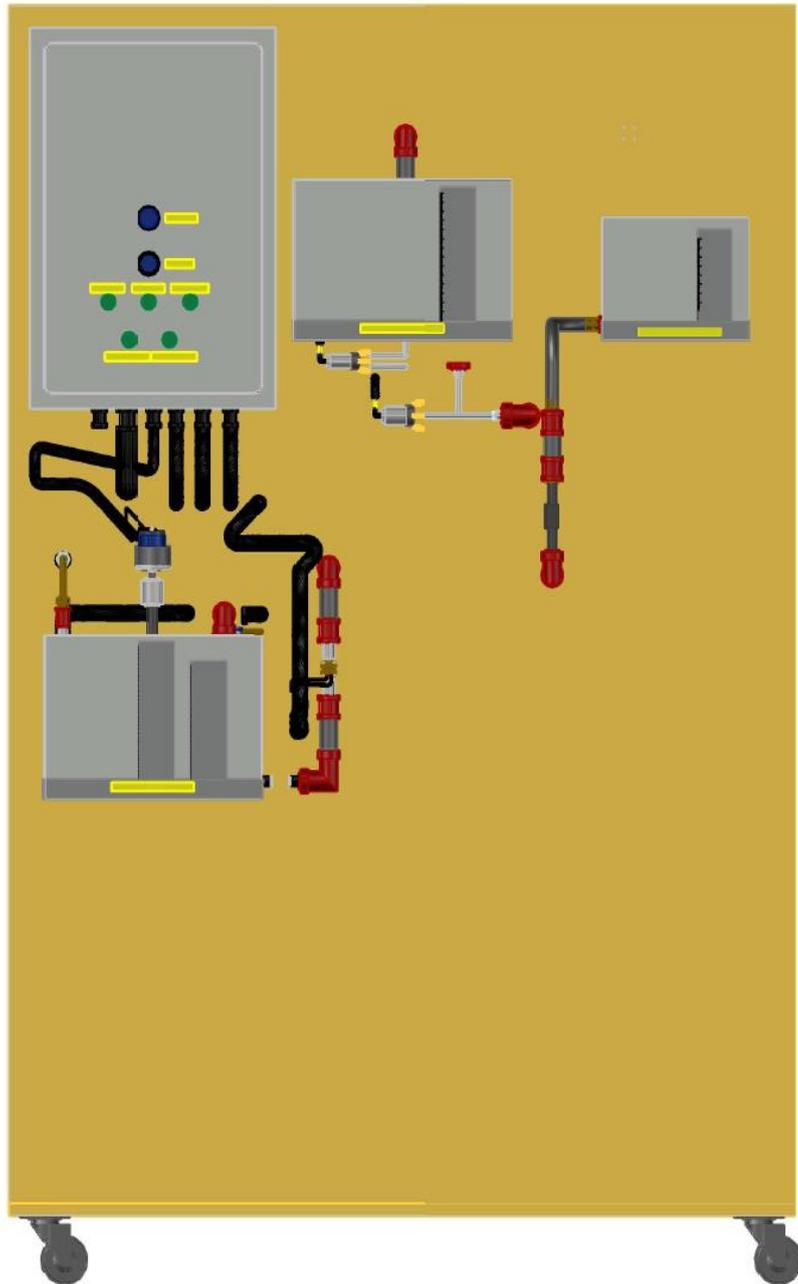
CONTROL DE PH EN MAQUETA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS 2DA PRORROGA Marzo 2019 - Agosto 2019																												
ACTIVIDADES	1ER MES				2DO MES				3ER MES				4TO MES				5TO MES				6TO MES							
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
Cambio de panel de control (50x35x20)cm, incremento de fuentes DC, y arduino Mega	█	█																										
Instalación del sensor ultrasónico y PT100			█	█																								
Realización cableado del circuito			█	█	█	█																						
Realización programa LABVIEW para funcionamiento del Arduino MEGA, Arduino UNO					█	█	█	█	█	█	█	█																
Integración del software con el hardware													█	█	█													
Pruebas de control y funcionamiento del proyecto													█	█	█	█	█	█										
Análisis de resultados																	█	█	█	█								
Elaboración del Documento					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█

ANEXO 2
GASTOS DEL PROYECTO

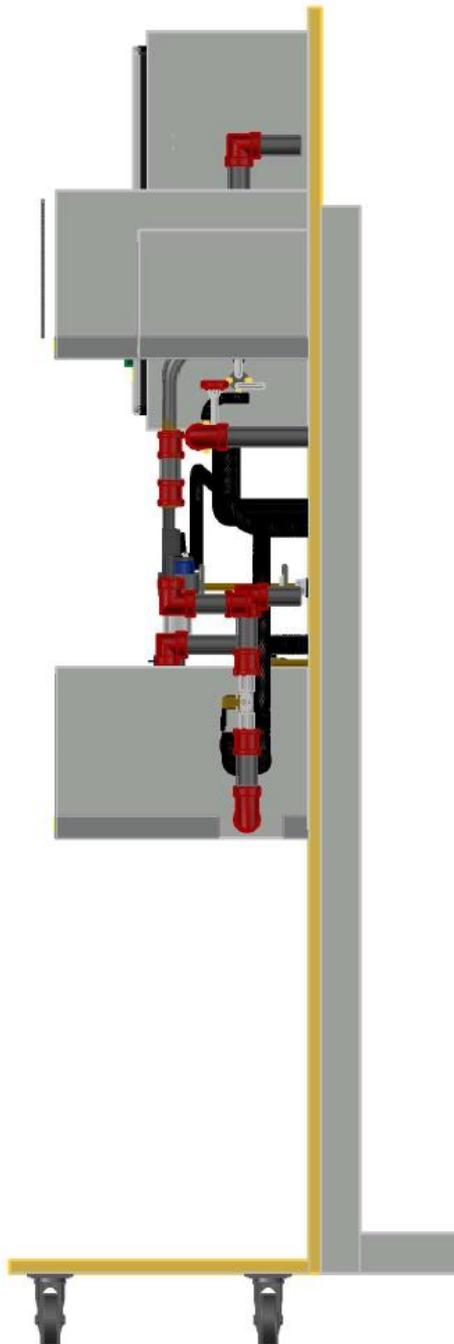
Cantidad	Descripción	Precio
2	Estructura laminada de 15 mm	75
1	Tubo cuadrado de 3"	10
11	Pernos galvanizados de 3"	5
3 mts	Tubería	4.23
5	Racors recto	14.50
2	Acoples para manguera	4.60
12	Codos	7.20
4	Uniones universales	2.40
7	Bushing y reductores	10
2	Cintas teflón grandes industriales	2
1	Tubo de silicona fría	7.50
1	Válvula solenoide danfoss	80
1	Tablero 50x35x20	30
1	Botonera marcha	2.50
1	Botonera paro	2.50
1	Tarjeta arduino Uno	20
1	Tarjeta arduino Mega	25
1	Moto 12 Vcd Agitador	18
1	Estructura para agitador	30
1	Rta pt 100 industrial	50
1	Sensor ultrasónico	3.50
2	Bombas para agua 12 Vcd	16
2	Cajas de tiras para medir PH	30
5	Tubería corrugada	3.40
1	Fuente de poder de 12 Vcd	15
1	Fuente de poder de 5Vcd	10
1	Fuente de poder de 6 Vcd	15
	Accesorios para cableado	20
1	Case para tarjeta arduino	10

1	Litro de pintura	10
2	Módulos de relé arduino	20
1	Puente H	3
1	Válvula solenoide 12 Vcd	24
1	Sensor PH arduino	75
1	Relé 120 Vca	8
1	Breaker 120 Vca	5
	Láminas de vidrio	15
4	Ruedas	10
1	Transformador 16 Vca	10
5	Luces piloto de 120 Vca	12
	Gastos varios	150
Total		\$ 813

VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



BIBLIOGRAFÍA

A., L. V. (Septiembre 2014). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROL PREDICTIVO. *Repositorio Fuerzas Armadas ESPE*, 9.

ADAJUSA. (s.f.). *ADAJUSA*. Recuperado el 15 de 02 de 2019, de ADAJUSA: <https://adajusa.es/electrovalvulas-de-control-de-procesos-y-domotica/electrovalvula-fluidos-1-22-cerrada-230v-accionamiento-indirecto.html>

Antonio, C. S. (2005). PH. En C. S. Antonio, *Creus Solé Antonio* (pág. 775). España: marcombo.

Arduino. (s.f.). *Arduino*. Recuperado el 15 de 02 de 2019, de Arduino: <https://arduino.cl/que-es-arduino/>

Arduino.cl. (s.f.). Recuperado el 21 de 08 de 2017, de <http://arduino.cl/arduino-uno/>

Arduino.cl. (s.f.). Recuperado el 4 de 12 de 2018, de <http://arduino.cl/arduino-uno/>.

Bordons, J. y. (Enero 2006). CONTROL PREDICTIVO-ITERATIVO BASADO EN MODELO Y APLICADO A PROCESOS POR LOTES. *Revista Iberoamericana de Automatica e Informatica Industrial*, 13.

Creus, A. (2011). *Instrumentación Industrial*. Barcelona, España: Marcombo.

De Máquinas y herramientas. (s.f.). Recuperado el 4 de 12 de 2018, de <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento><http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento>

De Maquinas y herramientas. (12 de 07 de 2016). (Espacio Marketing) Recuperado el 9 de 12 de 2018, de <http://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento>

DIGILENT. (2019). *DIGILENT*. Recuperado el 15 de 02 de 2019, de DIGILENT: <https://store.digilentinc.com/labview-physical-computing-kit-for-beaglebone-black-limited-time/>

DISTRITEC. (s.f.). *DISTRITEC*. Recuperado el 15 de 02 de 2019, de DISTRITEC: <https://www.distritec.com.ar/novedad-detalle.php?titulo=%BFQU%C9%20SON%20LAS%20ELECTROV%C1LVULAS?>

ERCO Worldwide. (s.f.). Recuperado el 10 de 12 de 2018, de <http://www.ercoworldwide.com/index.php/products/caustic/?lang=es>

Facultad de Bioquímica y ciencias biológicas Universidad Nacional del Litoral. (2010). Recuperado el 12 de 9 de 2018, de http://www.fbcb.unl.edu.ar/catedras/analitica/doc/TP_Final_pH_Electrodo_Combinado.pdf

I. O. Rico Ascención, E. S. (2015). AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INTELIGENTE FUZZY DE UN REACTOR USB VÍA. *VI CONGRESO NACIONAL DE TECNOLOGÍA APLICADA A CIENCIAS DE LA SALUD* , 8.

National Instrument. (s.f.). Recuperado el 4 de 12 de 2018, de <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>

National Instrument. (s.f.). Recuperado el 4 de 12 de 2018, de <http://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>

National Instruments- Innovations. (s.f.). Recuperado el 4 de 12 de 2018, de <http://www.ni.com/es-cr/innovations/technology.html>.

National Instruments. (2010). *National Instruments*. Recuperado el 01 de 03 de 2019, de <http://www.ni.com/academic/students/learnlabview/esa/control.htm>

PCE-IBERICA. (15 de 02 de 2018). *PCE-INST*. Recuperado el 15 de 02 de 2019, de <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-medida-laboratorio/medidor-pH-HI%20422x-02.htm>

QuimiNet.com. (16 de 06 de 2011). Recuperado el 9 de 12 de 2018, de <https://www.quiminet.com/articulos/que-es-un-variador-de-frecuencia-y-como-es-que-funciona-60877.htm>

Salas, A. F. (5 de 08 de 2008). *OpenCourseWare Universidad de Sevilla*. Recuperado el 09 de 12 de 2018, de <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/images/pic017.gif>

Salas, A. F. (05 de Agosto de 2008). *OpenCurseWare*. Recuperado el 9 de diciembre de 2018, de http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%206.%20Elementos%20auxiliares/page_05.htm.

Samir Kouro, R. M. (s.f.). Control mediante lógica difusa . *Técnicas modernas en automática* , 7.

SPENA GROUP. (2018). *SPENA GROUP*. Recuperado el 01 de 03 de 2019, de <http://spenagroup.com/planta-tratamiento-aguas-residuales-ptar/>