

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
SISTEMAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**“IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL DE VOLUMEN DEL NIVEL DE
LÍQUIDO DE UNA BOMBA DE 1/4 HP UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA EN
EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME,**

2016”

TESIS

PRESENTADA POR:

WILDER LUIS CUSI QUENTA

YUES ANTONY CUSI QUENTA

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

“IMPLEMENTACIÓN DE CONTROL DE VOLUMEN DEL NIVEL DE LÍQUIDO DE UNA BOMBA DE 1/4 HP UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN DE LA EPIME, 2016”

TESIS PRESENTADA POR:

WILDER LUIS CUSI QUENTA

YUES ANTONY CUSI QUENTA

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 13-12-2018

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:



PRESIDENTE:


Dr. NORMAN JESUS BELTRAN CASTAÑÓN

PRIMER MIEMBRO:


M.Sc. MATEO ALEJANDRO SALINAS MENA

SEGUNDO MIEMBRO:


M.Sc. JOSE MANUEL RAMOS CUTIPA

DIRECTOR / ASESOR:


M.Sc. MARIO MAMANI PAMPA

Área : Control de Procesos

Tema : Instrumentación, Diseño e implementación

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano, por ser nuestra casa de estudios que nos permitieron llegar a ser profesionales.

A nuestros padres por apoyarnos en todo momento, por su amor, comprensión y sobre todo por los valores que nos han inculcado. A ellos agradecerles incontables veces por darnos la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de nuestras vidas.

A nuestros amigos y compañeros quienes fueron parte de nuestra formación y quienes creyeron en nosotros, agradecimiento a ellos por haber hecho de nuestra etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidaremos.

Wilder Luis Cusi Quenta

Yues Antony Cusi Quenta

DEDICATORIA

A nuestros Padres

Dedicamos este proyecto a nuestros padres Domingo Cusi Laura y Marizol Quenta Chipana, a ellos que con su amor incondicional y ejemplos dignos de entrega y superación, han logrado que nuestro esfuerzo y dedicación culmine con éxito. Por su total apoyo en los momentos difíciles y por ser inspiradores de valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje.

A nuestro hermano Edy por estar siempre presente en cada etapa de nuestras vidas, por ser un ejemplo más para nuestra formación académica e integral.

INDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	12
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS.....	13
ABSTRACT.....	15
CAPITULO I.....	16
1.1. INTRODUCCIÓN	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	19
1.2.1. Descripción del problema.....	19
1.2.2. Justificación del Problema.....	19
1.2.3. Justificación Técnica.	19
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	20
1.3.1. Objetivos Generales.....	20
1.3.2. Objetivos Específicos.	20
CAPITULO II.....	21
REVISION DE LA LITERATURA.....	21
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	21
Antecedente 1.....	21
Antecedente 2.....	23
2.2. SUSTENTO TEÓRICO	24
2.2.1. Sistema de control	24
2.2.2. Implementación del control.....	25
2.2.3. Control y logica difusa	26
2.2.3.1. Controlador difuso	27
2.2.3.2. Características del control difuso.....	29
2.2.4. Metodos y medidores de nivel de líquido.....	30
2.2.4.1. Medidores de nivel directos.....	30

2.2.4.2. Medidores de nivel hidrostáticos	31
2.2.4.3. Medidores de nivel por presión	31
2.2.4.4. Medidores de nivel por burbujeo	32
2.2.4.5. Medidores de nivel por presión diferencial	32
2.2.4.6. Medidores de nivel según las propiedades eléctricas del producto a medir.....	32
2.2.4.7. Medidores de nivel por desplazamiento	33
2.2.5. Sistema scada.....	34
2.2.5.1. Definiciones del sistema scada	34
2.2.5.2. Aplicaciones del scada.....	35
2.2.6. Software labview 2017	36
2.2.6.1. Labview aplicado a la ingeniería	36
2.2.6.2. Fundamentos del entorno de labview	37
2.2.6.3. Panel frontal.....	37
2.2.6.4. Paleta de controles	38
2.2.7. Sensor ultrasonico hc-sr04	44
2.2.7.1. Definición	44
2.2.7.2. Diagrama de conexión	45
2.2.7.3. Funcionamiento	45
2.2.8. Sensor de flujo de caudal.....	46
2.2.8.1. Concepto	46
2.2.9. Ni myrio.....	47
2.2.9.1. Canales de entrada analógica.....	48
2.2.9.2. Canales de salida analógica	48
2.2.9.3. Acelerómetro	49
2.2.10. Variador de velocidad.....	50
2.2.10.1. Concepto	50

2.2.10.2. Características de los variadores de velocidad	51
2.2.11. Contactores	52
2.2.11.1. Constitución de un contactor electromagnético.....	52
2.2.11.2. Funcionamiento del contactor.....	52
2.2.12. Termomagneticos	53
2.2.12.1. Funcionamiento	54
2.2.13. Inversor de corriente ac/dc	55
2.2.13.1. Concepto	55
2.2.13.2. Aplicaciones.....	55
2.2.13.3. Funcionamiento	56
2.2.14. Electro bomba.....	57
CAPITULO III.....	58
MATERIALES Y METODOS.....	58
3.1. INTRODUCCION A LA SOLUCION	58
3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LA PLANTA	68
3.2.1. Estructura de soporte	68
3.2.2. Diseño de los circuitos electricos	68
3.2.3. Plano mecanico.....	71
3.2.4. Plano de ubicación del equipo	71
3.3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	74
3.3.1. Análisis de controlador difuso.....	74
3.3.2. Análisis de distancia mediante señales ultrasónicas.....	76
3.4. DESARROLLO DEL DISEÑO DE CONTROLADOR DIFUSO UTILIZANDO EL MÉTODO DE DEFUSIFICACION CENTROIDE	78
3.4.1. Entrada y salida del controlador difuso	80
3.4.2. Funcion de transferencia y variables linguisticas	81
3.4.3. Base de reglas	84

3.4.4. Fusificacion	85
3.4.5. Defusificacion.....	86
3.4.6. Tratamiento de las señales emitidas por los sensores.....	86
3.4.7. Aplicación del sistema de control difuso en procesos industriales	88
CAPITULO IV.....	92
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	92
4.1. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROYECTO	92
4.2. PROGRAMACION EN LABVIEW 2017.....	92
4.3. ANALISIS DE DATOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS	99
4.3.1. Descripcion.....	99
4.3.2. Condiciones nesesarias	100
4.3.3. Resultados.....	100
CONCLUSIONES.....	105
RECOMENDACIONES.....	106
REFERENCIAS.....	107
ANEXOS.....	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Modelamiento en lazo cerrado	25
Figura 2.2: Estructura de Modelo Difuso.	27
Figura 2.3: Ejemplo de fusificación de procesos	28
Figura 2.4: Sistema Scada de una Planta	34
Figura 2.5: LabVIEW 2017	36
Figura 2.6: Ejemplo de un Panel Frontal	37
Figura 2.7: Paleta de Controles.....	38
Figura 2.8: Controles e Indicadores Numéricos	39
Figura 2.9: Ejemplo de un Diagrama de Bloques y Panel Frontal Correspondiente	40
Figura 2.10: Diagrama de Bloques	40
Figura 2.11: Diagrama de Bloques del Área de un Triángulo con Vista de Terminal de Ícono	41
Figura 2.12: Diagrama de Bloques del Área de un Triángulo	42
Figura 2.13: Paleta de Funciones	44
Figura 2.14: Sensor Ultrasónico	45
Figura 2.15: Funcionamiento de sensor Ultrasónico	46
Figura 2.16: Sensor de Caudal.....	46
Figura 2.17: NI MyRio	47
Figura 2.18: Circuito de entrada analógica.....	48
Figura 2.19: Circuito de salida analógica	49
Figura 2.20: Programas desarrollados con MyRio en LabVIEW	50
Figura 2.21: Variador de Velocidad	51
Figura 2.22: Contactor convencional.....	53
Figura 2.23: Termo magnético convencional	54
Figura 2.24: Inversores de corriente AC/DC	56
Figura 2.25: Motor de Bomba de agua	57
Figura 3.1: Diagrama general de la planta.....	58
Figura 3.2: 1) Tanque principal y 2) Tanque de retroalimentación	59
Figura 3.3: Bomba de Agua utilizado en el proyecto	59
Figura 3.4: Variador de Velocidad utilizado en el proyecto.....	60
Figura 3.5: Placa para la transformación de señales.....	62
Figura 3.6: Esquema eléctrico de los sensores	62

Figura 3.7: Partes del myRio 1900	63
Figura 3.8: Diagrama de Bloques del hardware NI my Rio 1900.....	64
Figura 3.9: Señales primarias/secundarias en los conectores A y B Mxp	65
Figura 3.10: señales en el mini puerto del sistema (MSP) conector C.	66
Figura 3.11: sensor de caudal utilizado en el proyecto	66
Figura 3.12: sensor ultrasónico utilizado en el proyecto	67
Figura 3.13: Descripción de la Estructura de Soporte	69
Figura 3. 14: Descripción del Plano de Circuitos Eléctricos	70
Figura 3.15: Descripción del Plano Mecánico.....	72
Figura 3.16: Plano de Ubicación del Módulo de Control.....	73
Figura 3.17: Ejemplo de fusificación.....	75
Figura 3.18: Etapa de defusificación	75
Figura 3.19: Sensor Ultrasónico	76
Figura 3.20: Diagrama de tiempo del sensor ultrasónico	77
Figura 3.21: Funcionamiento del sensor ultrasónico	78
Figura 3.22: Desarrollo del diseño del controlador difuso en el laboratorio de control y automatización de la EPIME	79
Figura 3.23: Diagrama de bloques General del proyecto desarrollado de forma experimental.....	80
Figura 3.24: Funciones de Membresía y variables lingüísticas de entrada - Error.....	82
Figura 3.25: Funciones de Membresía y variables lingüísticas de entrada - Caudal.....	83
Figura 3.26: Funciones de Membresía y variables lingüísticas de salida	84
Figura 3.27: Elaboración del tratamiento de señales	87
Figura 3.28: Etapas del proceso de embotellamiento de garrafones de agua	89
Figura 3.29: Diagrama de bloques de la fábrica embotelladora	90
Figura 3.30: Diagrama de bloques de comunicación entre el controlador difuso, el sensor y el actuador.....	91
Figura 4.1: Diseño del Scada para el Control difuso N°01	93
Figura 4.2: Diseño del Scada para el Control difuso N°02	93
Figura 4.3: Diseño del Scada para el Control difuso N°03	94
Figura 4.4: Diseño del Scada para el Control difuso N°04	94
Figura 4.5: Diseño del Scada para el Control difuso N°05	95
Figura 4.6: Diseño del Scada para el Control difuso N°06	95
Figura 4.7: Diseño del Scada para el Control difuso N°07	95

Figura 4.8: Diseño del Scada para el Control difuso N°08	96
Figura 4.9: Diseño del Scada para el Control difuso N°08-2.....	96
Figura 4.10: Diseño del Scada para el Control difuso N°09	97
Figura 4.11: Diseño del Scada para el Control difuso N°10.....	97
Figura 4.12: Scada de nivel de control de líquido general.....	98
Figura 4.13: Diseño final del entorno del operador	99
Figura 4.14: Curva de prueba N° 01	100
Figura 4.15: Curva de prueba N° 02	101
Figura 4.16: Curva de prueba N° 03	102
Figura 4.17: Resumen de Curvas de Estabilidad	103
Figura 4.18: Resumen de Curvas de Errores	104
Figura 4.19: Curvas de Nivel y Caudal.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1: características de la bomba de Agua.....	60
Tabla 3.2: Características del variador de velocidad	61
Tabla 3.3: Características del Adaptador AC/DC.....	61
Tabla 3.4: Descripciones de señales en los conectores A y B Mxp.....	65
Tabla 3.5: Características del sensor de caudal	67
Tabla 3.6: Características del sensor ultrasónico.....	68
Tabla 3.7: Reglas Difusas	85
Tabla 3.8: Proceso productivo de fábricas embotelladoras de garrafones de agua	89
Tabla 4.1: Prueba N° 01	100
Tabla 4.2: Prueba N° 02.....	101
Tabla 4.3: Prueba N° 03	102

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- **EPIME:** Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- **LABVIEW:** Banco de Trabajo de Ingeniería de Instrumentación Virtual de Laboratorio.
- **MATLAB:** Laboratorio de matrices.
- **PAC:** Controlador de Automatización.
- **PLC:** Controlador Lógico Programable.
- **SCADA:** Supervisión, Control y Adquisición de Datos

RESUMEN

El presente proyecto de investigación trata sobre el diseño e implementación de un controlador difuso que será utilizado en un módulo que nos permita estudiar y analizar las características de funcionamiento de controladores FUZZY LOGIC (algoritmo auto regulable) y a la vez controlar el caudal del líquido en el tanque principal utilizando el software LABVIEW a través de un sistema Scada el cual permitirá el control y supervisión de adquisición de datos en el laboratorio de control y automatización de la EPIME. Actualmente el CONTROL DIFUSO se viene utilizando de manera eficiente en la industria de todo el mundo, ya que mejora considerablemente el control de procesos industriales. Debido a la importancia de este sistema de control es que la implementación de un controlador difuso en el laboratorio de control y automatización de la escuela profesional de ingeniería mecánica eléctrica de la UNA - PUNO será primordial para el aprendizaje y conocimiento de nuevas tecnologías. Todo esto para comparar el funcionamiento, ventajas y desventajas de un controlador FUZZY LOGIC. El sistema está compuesto de un tanque principal, un tanque de retroalimentación, una bomba AC, sensores ULTRASONICOS, sensor de caudal, myRIO (tarjeta de datos), el variador de frecuencia (VTL) y el software LABVIEW, el cual será instalado en el computador, en ella se diseñará la estructura del controlador Difuso (parámetros de sintonía). Para las condiciones de estabilidad, se actúa sobre el caudal y nivel de agua que ingresa a la planta (tanque principal) del sistema donde se controla el nivel deseado.

Palabra claves: control y automatización, FUZZY LOGIC, sintonía, algoritmo, procesos y automatización, FUZZY LOGIC, sintonía, algoritmo, procesos.

ABSTRACT

The present research project deals with the design and implementation of a fuzzy controller that will be used in a module that allows us to study and analyze the operating characteristics of FUZZY LOGIC controllers (self-regulating algorithm) that allows controlling the liquid flow in the tank using the LABVIEW software through a Scada system that allows the control and supervision of data acquisition in the control and automation laboratory of the EPIME. Currently DIFFUSE CONTROL is being used efficiently in the industry worldwide, since it considerably improves the control of industrial processes. Due to the importance of this control system, the implementation of a diffuse controller in the control and automation laboratory of the professional mechanical engineering school of the UNA - PUNO will be essential for the learning and knowledge of new technologies. All this to compare the operation, advantages and disadvantages of a FUZZY LOGIC controller. The system is composed of a main tank, a feedback tank, an AC pump, ULTRASONIC sensors, flow sensor, myRIO (data card), frequency inverter (VTL) and LABVIEW software, which will be installed in the computer, in it the Fuzzy controller structure will be designed (tuning parameters). For stability conditions, the flow and level of water entering the plant (main tank) of the system where the desired level is controlled is acted upon.

Key Words: control and automation, FUZZY LOGIC, tuning, algorithm, processes and automation, FUZZY LOGIC, tuning, algorithm, processes.

CAPITULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo del proyecto denominado “IMPLEMENTACION DE CONTROL DE VOLUMEN DEL NIVEL DE LIQUIDO DE UNA BOMBA DE 1/4 HP UTILIZANDO LOGICA DIFUSA EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LA EPIME, 2016” orientado al diseño de un módulo de control, esto con la finalidad de poder realizar ensayos con un controlador de lógica difusa en la escuela profesional de ingeniera mecánica eléctrica, además así poder estudiar y comprender el método de lógica difusa, fue construida para controlar el nivel de líquido mediante el caudal del agua. El sistema de control de volumen de nivel de líquido permitirá la interacción de los estudiantes con elementos reales de control y automatización. Se implementaron equipos de tecnologías actuales y control por computador, esta tecnología permite controlar la planta desde el monitor de un computador, a través de la programación de una interface gráfica, que nos permite un software de computador como el LABVIEW, el cual es un software de programación de bloques, que con sus diversas funciones de simulación y adquisición de datos en tiempo real nos permite controlar en la planta el flujo y nivel de agua de nuestro sistema.

En la actualidad los procesos industriales requieren satisfacer varias condiciones ya sea de orden técnico, económico o social, en presencia de influencias externas, llamados perturbaciones que crean perdidas, inestabilidad, lentitud, inseguridad y errores. Estas perturbaciones deben ser eliminadas para obtener una mayor eficiencia en los procesos automatizados.

Hasta los años 40 la mayoría de las plantas funcionaban manualmente, por ello era antieconómico, entonces se instalaron controladores, siendo los primeros por retroalimentación, aunque en forma empírica. Recién a partir de 1960 se aplicó el análisis

dinámico y la teoría de control, posteriormente los sistemas expertos, inteligencia artificial y actualmente la lógica difusa, redes neuronales y algoritmos genéticos que son los conceptos modernos de los sistemas de control. A pesar de los avances los controladores PI y PID siguen siendo más del 50%, es por eso que a través de esta investigación poder hacer una comparación entre un controlador PID y un controlador FUZZY, para así poder obtener las ventajas y desventajas de dichos controladores.

La lógica difusa y sobre todo el control difuso actualmente representan una novedosa e importante rama de la técnica de regulación. Los procedimientos convencionales no se sustituyen, sino que se complementan de forma considerable en función del campo de aplicación. Los mayores éxitos en el campo de las aplicaciones industriales y comerciales de los métodos difusos los ha logrado hasta la fecha el regulador difuso. Los reguladores difusos son reguladores no-lineales. Por medio de la selección adecuada de funciones de pertenencia y del establecimiento de una base de reglas se pueden compensar no-linealidades en el sistema de regulación de procesos. Las funciones de pertenencia son modelos matemáticos para los términos lingüísticos. Como en el caso de un regulador convencional, en el regulador difuso se transforman variables de entrada en variables de salida, que actúan en el proceso o en el sistema de control. Múltiples variables de entrada y salida se pueden enlazar entre sí de forma que sistemas complejos se pueden regular fácilmente. Los valores de entrada y salida son valores exactos en forma de señales. La imprecisión típica de los métodos difusos desempeña un papel sólo dentro del regulador. En un regulador difuso se ejecutan tres pasos de procesamiento: fusificación, inferencia y defusificación. El diseño de un regulador difuso contiene la selección de variables.

El presente trabajo se muestra en capítulos los cuales tratan los siguientes temas:

EL PRIMER CAPÍTULO: Describe todo lo referente a la fundamentación del proyecto de investigación.

EL SEGUNDO CAPÍTULO: Presenta el sustento teórico. Define conceptos básicos de tanque de agua, nivel de agua, sistema scada, automatización, Software LabVIEW, diagrama de bloques, tarjeta de adquisición de datos NiMyRIO.

EL TERCER CAPÍTULO: Presenta la metodología del proyecto de investigación, contienen fases de investigación y condiciones de prueba.

EL CUARTO CAPÍTULO: Presenta los resultados de la investigación desarrollada, también presenta sugerencias para futuras investigaciones.

Además, contiene índice de referencias, tablas, imágenes entre los diferentes capítulos, conclusiones y bibliografía.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Descripción del problema

De acuerdo a la actualidad de nuestro país y la región de Puno se revela que la pequeña y mediana empresa cuentan con sistemas de producción antiguos y obsoletos, así como operarios que se encargan de los procesos de control manualmente, y teniendo en cuenta que los sistemas de producción cada vez son más inteligentes, se ve la necesidad de implementar sistemas inteligentes que ayuden a los procesos de control, para que estos sean rápidos y eficientes, por lo que la presente tesis muestra el diseño de un controlador difuso el cual nos permitirá aplicar nuestros conocimientos de lógica difusa en el laboratorio de control y automatización.

1.2.2. Justificación del Problema

El diseño e implementación, reúne características, condiciones técnicas y operativas que aseguren el cumplimiento de los objetivos. Así como, su capacidad de ser un instrumento educativo, económico y de uso sencillo; y sobre todo de igual nivel de precisión y de mejor respuesta de control que los equipos que existen en el mercado, todo esto para poder ampliar más nuestros conocimientos en tema de control difuso y así poderlos aplicar en los controladores con lógica difusa en pequeñas, medianas y grandes empresas de nuestro entorno.

El proyecto de investigación será accesible para todos los estudiantes que tengan acceso al laboratorio de control y automatización.

1.2.3. Justificación Técnica.

Desde el punto de vista técnico, la implementación de un módulo en el laboratorio de control y automatización, el cual facilitara los ensayos sobre control utilizando la lógica difusa utilizando un sistema scada y así poder entender más sobre lógica difusa.

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivos Generales.

Diseñar e implementar un módulo de control de nivel de líquido utilizando lógica difusa.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- a) Diseñar un sistema scada para los tanques principal y retroalimentación y así obtener datos del proceso de control.
- b) Analizar y diseñar el sistema mecánico – electrónico para un eficiente funcionamiento del proyecto.

CAPITULO II

REVISION DE LA LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En cuanto al tema de investigación denominado “IMPLEMENTACION DE CONTROL DE VOLUMEN DEL NIVEL DE LIQUIDO DE UNA BOMBA DE 1/4HP UTILIZANDO LOGICA DIFUSA EN EL LABORATORIO DE CONTROL Y AUTOMATIZACION DE LA EPIME, 2016”, en la actualidad no se puede encontrar un módulo que trate específicamente de control usando lógica difusa.

ANTECEDENTE 1.

TESIS

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA PARA INCUBADORA AVÍCOLA CON CONTROL DIFUSO Y LA PLATAFORMA LABVIEW

AUTORES: Adán Cortés de la Cruz - Oscar Arenas Rosales

El objetivo principal fue diseñar e implementar un sistema de control difuso, usando LabVIEW, que logre alcanzar y mantener el nivel deseado de la temperatura en el interior de una incubadora de huevos de ave, además tener el control de temperatura del ambiente que nos rodea, y que el equipo informe de la temperatura en que se encuentra y la manipule según se necesite durante el proceso.

La metodología que se utilizó para esta investigación hace referencia al conjunto de procedimientos basados en principios lógicos. Utilizando la lógica difusa se puede alcanzar una amplia gama de objetos que rigen la investigación científica.

Este proyecto de investigación comprende 7 pruebas donde se consideran diferentes escenarios y variables que afectan tanto la humedad como la temperatura, donde se concluyó lo siguiente:

1. Las pruebas se realizaron en un prototipo de incubadora con el fin de poder simular las condiciones de un ambiente con la humedad y la temperatura adecuada para el crecimiento o reproducción de seres ovíparos, cosa que se logró efectivamente.
2. Luego de realizar algunas pruebas en el prototipo de incubadora se dieron diversos valores tanto de humedad como de temperatura, se puede afirmar que el control aquí propuesto arrojó buenos resultados, debido a que el sistema tiene un desempeño óptimo.
3. Un problema que se presentó fue que en el transcurso del tiempo la humedad se tardaba en llenar el recinto de la incubadora, por ende el sensor de humedad tarda en detectar la lectura, pudiéndose dar el inconveniente de que no se llegue al valor deseado que se pide ya sea de la humedad o la temperatura. Pero gracias al control con lógica difusa fue posible la solución del problema combinando varias de las alternativas de las funciones miembro que se diseñaron.
4. En cuanto al sistema de etapa de potencia que se usó para el control de focos y ventiladores que funcionan con Vcd, presentó un funcionamiento completamente aceptable ya que el control mostró una respuesta que se puede decir casi perfecta.
5. De la tarjeta de adquisición de datos (DAQ), se puede decir que es un poco cara pero se pudiera extender su uso para incorporar más variables a controlar y al aplicar el sistema en una extensión grande se justificaría su costo.

ANTECEDENTE 2.

TESIS: “CONTROL DE TEMPERATURA DE UN HORNO ELÉCTRICO MEDIANTE LÓGICA DIFUSA”

AUTOR: ISSAC SALOMÓN JIMÉNEZ ESCAMILLA

El objetivo principal de este trabajo es monitorear y controlar la temperatura de un horno eléctrico mediante la implementación de un controlador difuso. Para desarrollar el sistema de control de temperatura se obtienen sus parámetros de operación (temperatura máxima, tiempo que tarda en alcanzar la temperatura máxima, tiempo en enfriamiento) y se averigua la forma en que se va a manipular, tomando en cuenta todas las actividades que se encuentran en su conjunto integradas para obtener resultados que permitan la creación del sistema de control de temperatura, realizando las siguientes fases:

Fase 1. Acondicionamiento de la señal del termopar.

Fase 2. Módulo de disparo.

Fase 3. Implementación del control difuso.

De acuerdo a las fases realizadas se logró las siguientes conclusiones:

6. Por la complejidad del sistema, los factores externos que son difíciles de modelar y el tiempo que se hubiera invertido en tratar de realizar el modelo de todo el sistema, parece haber sido lo más adecuado para resolver el problema utilizando un controlador difuso directo sin optimización tipo proporcional derivativo.

7. Se cumplieron los objetivos mencionados anteriormente y se obtuvo una buena medida de temperatura a pesar del error que presenta, el cual se considera despreciable. La interfaz del usuario cumple con los principios de usabilidad, mostrando gráficas de temperatura (real vs referencia), indicadores (tiempo, potencia y temperatura), rampa que

está realizando y tiene la capacidad de guardar los datos de la quema para un análisis futuro o consulta del estudiante, lo que lo convierte en un sistema fácil de manejar, confiable y útil.

8. Los controladores difusos pueden adaptarse con facilidad relativa a sistemas que posean por su naturaleza una dinámica especial de comportamiento y por lo tanto, presentan condiciones muy variables en cuanto a los puntos de operación. Sin embargo, en los controladores difusos es difícil asegurar su estabilidad siendo ésta una de sus principales desventajas.

9. De acuerdo al análisis realizado a las gráficas de trayectoria de temperatura, se puede decir que el control difuso responde de manera satisfactoria y estable, a pesar de que se presentaron errores que parecen grandes, el error máximo fue de apenas el 3.8%, para rampas y permanencias de subida mayores de 220 °C, para rampas y permanencia de bajada mayores a 500 °C se obtuvo un error máximo de 1.5 %.

2.2. SUSTENTO TEÓRICO

2.2.1. SISTEMA DE CONTROL

En un sistema de control, se puede definir como un método en el cual se tiene el control de un proceso ya sea manual o automáticamente, sin importar cuál sea de estos dos tipos de control, siguen siendo un sistema de control. Hay sistemas de control biológico y mecánico.

Por ejemplo, en nuestro cuerpo tenemos muchos tipos de sistemas de control como el de nuestro de temperatura del cuerpo que se regula por medio de la respiración, también el sistema locomotor de nuestras extremidades, y así muchos otros sistemas de control que tenemos en nuestro cuerpo; también como mencionó existen un incontable número

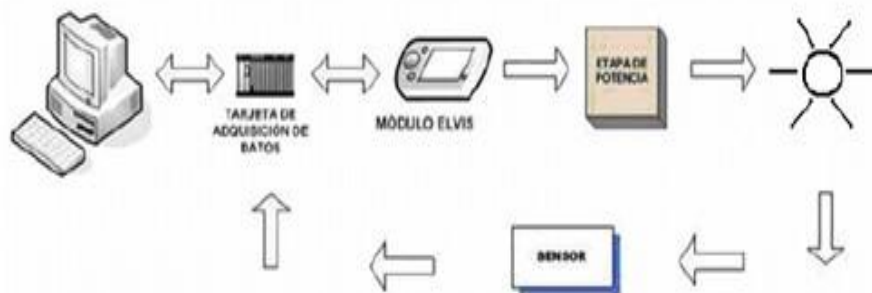
de sistemas de control mecánicos desde un pequeño reloj hasta un sistema complejo de control de una planta nuclear.

2.2.2. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROL

La aplicación de un control típico de cualquier tipo es de forma sistemática y se hace presente en varios pasos para la modelación y la implementación del mismo, como en los siguientes ejemplos:

Anteriormente para hacer este tipo de diagrama se utilizaban varios pasos y varios instrumentos de medición así también como de procesos, como el modelado del sistema. Como se muestra en la figura 2.1 un modelado en lazo cerrado

Figura 2.1: Modelamiento en lazo cerrado



Fuente: https://es.contradores.org/wiki/Control_de_nivel (15 de agosto del 2016)

Para implementar un control típico con controles como PI, PD y PID; aun en la actualidad se usan y tienen como elementos indispensables; una computadora que funciona como la interfaz con el usuario, la cual tiene instalada en su hardware una tarjeta de adquisición de datos la cual interactúa de forma inmediata con la interfaz (equipo de cómputo) y con la consola del Módulo que hace un acoplamiento de señal para que la tarjeta de adquisición de datos la procese. (https://es.contradores.org/wiki/Control_de_nivel ,15 de agosto del 2016)

2.2.3. CONTROL Y LOGICA DIFUSA

La lógica difusa es una metodología que proporciona una manera simple y elegante de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta, en general la lógica difusa imita como una persona toma decisiones basada en información con las características mencionadas. Una de las ventajas de la lógica difusa es la posibilidad de implementar sistemas basados en ella tanto en hardware como en software o en combinación de ambos. La lógica difusa se basa en lo relativo de lo observado. Este tipo de lógica toma dos valores aleatorios, pero contextualizados y referidos entre sí.

La lógica difusa (Fuzzy Logic) ha surgido como una herramienta importante para el control de subsistemas y procesos industriales complejos, así como también para la electrónica de entretenimiento y hogar, sistemas de diagnóstico y otros sistemas expertos. Aunque la lógica difusa se inventó en Estados Unidos, el crecimiento rápido de esta tecnología ha comenzado desde Japón y ahora nuevamente ha alcanzado USA y también Europa. La lógica difusa es todavía un boom en Japón, el número de cartas patentando aplicaciones aumenta exponencialmente. Principalmente se trata de aplicaciones más bien simples de lógica difusa.

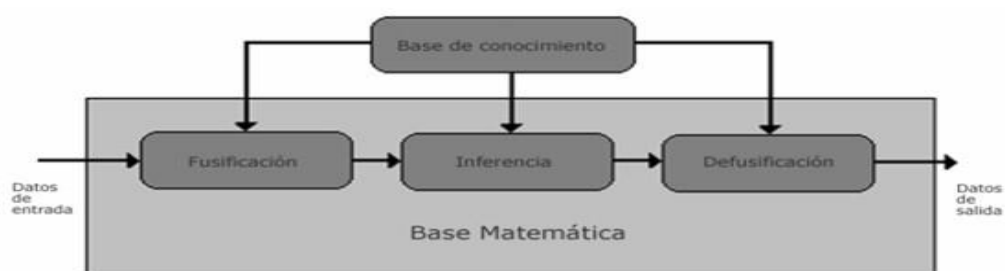
En esencia un controlador lógico difuso, contiene un algoritmo que es capaz de convertir una estrategia de control lingüística en una estrategia de control automático. Con la lógica difusa se pueden diseñar aplicaciones para que las máquinas respondan con mayor inteligencia a la imprecisión y a las condiciones del mundo exterior, con lo que se busca imitar el comportamiento humano. La creación de una máquina con lógica difusa, es forjar un sistema experto, en donde el comportamiento de la máquina, va a estar basado totalmente en el conocimiento del experto o de la persona que aporta sus conocimientos empíricos para el funcionamiento de ésta.

En el área del control, la lógica difusa ha permitido obtener resultados espectaculares, resultados que han avalado la teoría. Si se hace un razonamiento con lógica difusa dentro de un sistema experto se obtiene una expresión también difusa, siendo usual tener que asignarle posteriormente un valor lingüístico. En cambio, cuando se realiza un razonamiento difuso para controlar un proceso, el resultado buscado es de una cualidad completamente diferente, ya que lo que ha de generarse es un conjunto de valores numéricos precisos a lo que una vez traducidos a las magnitudes físicas correspondientes: presión, voltajes, corrientes, etc; han de introducirse a los actuadores de control. (PEDRO PONCE CRUZ (2010))

2.2.3.1. CONTROLADOR DIFUSO

Los sistemas de control difuso permiten describir un conjunto de reglas que utilizarían una persona para controlar un proceso y a partir de esta regla generar acciones de control. El control difuso puede aplicarse tanto en sistemas muy sencillos como en modelos matemáticos que sean muy complejos

Figura 2.2: Estructura de Modelo Difuso.



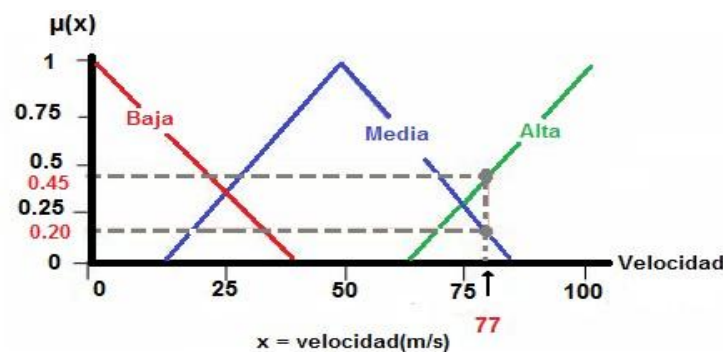
Fuente: Zadeh, Lofti A.: "Fuzzy Sets". Information and Control. 8. 1965

Para lograr que la estructura del control difuso funcione correctamente se debe recurrir a los siguientes pasos:

1. Definir cuáles son las entradas.
 2. Definir cuáles son las salidas.
 3. Fusificar las entradas.
 4. Evaluar el sistema que cumpla con las reglas.
- Fusificación: tiene como objetivo convertir valores reales en valores difusos. En la fusificación se asignan grados de pertenencia a cada una de las variables de entrada con relación a los conjuntos difusos previamente definidos utilizando las funciones de pertenencia asociadas a los conjuntos difusos.

El control difuso siempre involucra este proceso de fusificación, esta operación se realiza en todo instante de tiempo, es la puerta de entrada al sistema de inferencia difusa. Es un procedimiento matemático en el que se convierte un elemento del universo de discurso (variable medida del proceso) en un valor.

Figura 2.3: Ejemplo de fusificación de procesos



Fuente: Zadeh, Lofti A.: "Fuzzy Sets". Information and Control. 8. 1965

- **Base de conocimiento:** contiene el conocimiento asociado con el dominio de la aplicación y los objetivos del control. En esta etapa se debe definir las reglas lingüísticas de control que realizarán la toma de decisiones que decidirán la forma en la que deben actuar el sistema.

- **Inferencia (Evaluación de Reglas):** relaciona los conjuntos difusos de entrada y salida para representar las reglas que definirán el sistema. En la inferencia se utiliza la información de la base de conocimiento para generar reglas mediante el uso de condiciones.
- **Defusificación:** realiza el proceso de adecuar los valores difusos generados en la inferencia en valores crisp, que posteriormente se utilizarán en el proceso de control. En la defusificación se utilizan métodos matemáticos simples como el método del centroide, método del promedio ponderado y método de membresía del medio máximo. (ZADEH, LOFTI A.: 1965)

2.2.3.2. CARACTERÍSTICAS DEL CONTROL DIFUSO

El control difuso tiene tres características principales:

- Es un control lógico. El calificativo de lógico significa que el algoritmo de control usa expresiones IF-THEN, en las que se puede describir una amplia variedad de condiciones, combinando expresiones lógicas con IF y AND.
- Es un control disperso. Esta característica, que diferencia esencialmente los sistemas de control difuso de los sistemas de control basados en una sola ecuación, permite la coexistencia de controladores con lógicas distintas y su ejecución en paralelo.
- Es un control lingüístico. En efecto permite el uso de variables lingüísticas imprecisas, en particular en los antecedentes de las reglas. Este lenguaje cualitativo es fácil de entender, permite realizar el control mediante un diálogo con los operadores, utilizando sus ojos experimentados en la observación del proceso como entradas externas, e introducir cosas como las condiciones del proceso como información útil para el control.

Además, el control difuso no necesita de un modelamiento matemático y el algoritmo de control puede incluir los procedimientos inusuales que acompañan siempre las operaciones de un proceso real. (PEDRO PONCE CRUZ (2010))

2.2.4. METODOS Y MEDIDORES DE NIVEL DE LÍQUIDO

Existen distintos métodos para la medición de nivel de líquidos con características particulares que los hacen más para unas aplicaciones u otras.

Los principales tipos de medidores de nivel son los que se basan en:

Medición directa.

- La presión hidrostática.
- Las propiedades eléctricas del líquido.
- El desplazamiento.

Los medidores de nivel comerciales suelen combinar varios de los métodos anteriormente citados para aprovechar cada una de las ventajas que ofrecen. (<http://www.coltech.es/informacion/2009>)

2.2.4.1. Medidores de nivel directos.

Son aquellos que se basan en la medición directa de la altura de líquido. Se pueden dividir en aquellos que son mecánicos y generalmente manuales de los que basan la medición del nivel en un flotador acoplado a equipo eléctrico.

a Varilla de medición

Consiste en una varilla que se introduce en el tanque a medir. Al retirar la varilla del depósito, el nivel alcanzado quedará marcado en la varilla.

El operario que realiza la medición está en la parte alta del depósito por lo que este método está contraindicado para la medición de productos cuyas propiedades puedan ser perjudiciales para el operario o sea complejo situarse en la parte alta del depósito.

b Flotador

Un flotador en el interior del depósito marca permanentemente el nivel del líquido. Hay múltiples maneras de transmitir el nivel del flotador al operario.

Mecánicamente. Mediante una cuerda, se ata el flotador a un contrapeso y una escala calibrada que marcan el volumen del líquido. Rápido, económico y directo pero voluminoso y que puede enredarse.

Magnéticamente. El flotador lleva incorporado un imán que transmite la señal, bien a una pieza metálica en el exterior, la cual se mueve en función del flotador o bien a un circuito eléctrico que se abre o cierra en función de la presencia o no del flotador. (<http://www.coltech.es/informacion/2009>)

2.2.4.2. Medidores de nivel hidrostáticos

Se basan en la presión que ejerce la columna de líquido. Esta presión dependerá del nivel de producto, de su densidad y de la presión atmosférica.

2.2.4.3. Medidores de nivel por presión

La manera más sencilla de medir el nivel es colocar un sensor de presión relativa (sin contar la presión atmosférica) en la parte baja del depósito. La presión del líquido será recogida por el sensor y ajustando por la densidad se conocerá el nivel.

2.2.4.4. Medidores de nivel por burbujeo

Cuando no es posible o conveniente colocar un sensor de presión en el fondo del depósito, se puede colocar una varilla hueca que llegue hasta el fondo y desplazar el líquido que hay dentro de la varilla por aire. Sobre el punto más bajo de la varilla se ejercerá una presión equivalente a la altura del líquido que se transmitirá hasta un punto alejado del depósito donde se coloca un sensor de presión.

2.2.4.5. Medidores de nivel por presión diferencial

El principal inconveniente de medir la presión para encontrar el nivel, es que la altura del líquido depende de la densidad del mismo. Muchas veces la densidad es desconocida o variable, bajo efectos como la temperatura. Midiendo en dos puntos a una distancia conocida, se puede calcular la densidad y una vez conocida, calcular con precisión la altura del líquido. (<http://www.coltech.es/informacion/2009>)

2.2.4.6. Medidores de nivel según las propiedades eléctricas del producto a medir

a. Medidores de nivel capacitivos

Funcionan midiendo las variaciones de la capacitancia de una sonda introducida en el líquido del cual se quiere medir el nivel.

La constante dieléctrica del líquido es diferente de la del aire; midiendo la cantidad de carga eléctrica en la sonda se establece la altura del líquido.

b. Medidores de nivel por ultrasonidos.

Los niveles de ultrasonidos emiten una onda que llega hasta la superficie del líquido y rebota hasta volver a llegar al sensor de nivel. El tiempo que tarda la onda en ir y venir determinará la distancia entre sensor y altura, que restando de la altura total, ofrecerá la altura del líquido.

Ofrecen la ventaja de que no hay partes inmersas en el líquido y su colocación es muy sencilla. Pueden presentar problemas cuando los líquidos forman espumas o la geometría del depósito genera ecos que perturban la señal de la lámina de líquido.

c. **Medidores de nivel conductivos**

Funciona en líquidos conductores de la electricidad y detectan el cierre de un circuito eléctrico.

Se suelen emplear como medidores discretos por puntos. Se colocan dos electrodos a la altura que se desea controlar. Un electrodo está conectado al negativo de una pila y otro al positivo. Cuando el líquido baña ambos electrodos, se cierra el circuito eléctrico, detectándose, de esta manera, que el líquido ha alcanzado este nivel. (<http://www.coltech.es/informacion/2009>)

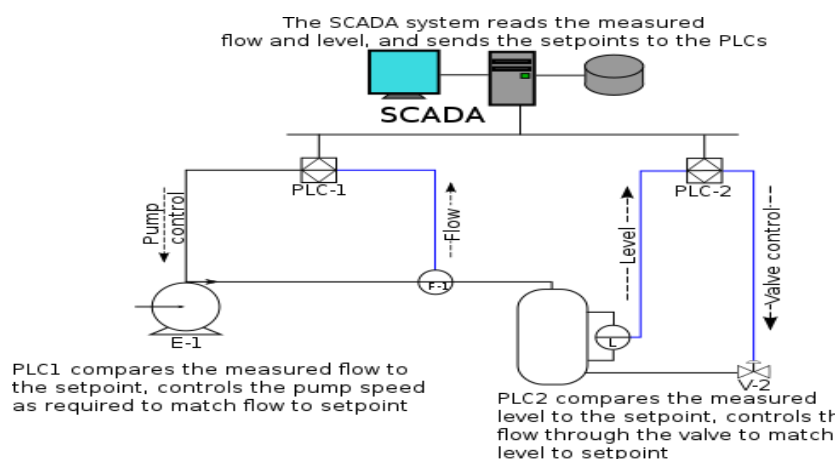
2.2.4.7. Medidores de nivel por desplazamiento

Funcionan acoplando un flotador a un indicador mecánico mediante un brazo. El flotador se mueve a lo largo del rango del depósito y ese desplazamiento se transmite al dial mediante el brazo. (<http://www.coltech.es/informacion/2009>)

2.2.5. SISTEMA SCADA

SCADA, acrónimo de Supervisory Control And Data Acquisition (Supervisión, Control y Adquisición de Datos) es un concepto que se emplea para realizar un software para ordenadores que permite controlar y supervisar procesos industriales a distancia. Facilita retroalimentación en tiempo real con los dispositivos de campo (sensores y actuadores), y controla el proceso automáticamente. Provee de toda la información que se genera en el proceso productivo (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.) y permite su gestión e intervención.

Figura 2.4: Sistema Scada de una Planta



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/SCADA> 14 de junio del 2018.

2.2.5.1. DEFINICIONES DEL SISTEMA SCADA

Un sistema SCADA incluye un hardware de señal de entrada y salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, comunicaciones, base de datos y software.

El término SCADA usualmente se refiere a un sistema central que supervisa y controla un sitio completo o una parte de un sitio que nos interesa controlar (el control puede ser sobre máquinas en general, depósitos, bombas, etc.) o finalmente un sistema que se extiende sobre una gran distancia (kilómetros / millas). La mayor parte del control del sitio es en realidad realizada automáticamente por una Unidad Terminal Remota (UTR),

por un Controlador Lógico Programable (PLC) y más actualmente por un Controlador de Automatización Programable (PAC). Por ejemplo un PLC puede controlar el flujo de agua fría a través de un proceso, pero un sistema SCADA puede permitirle a un operador cambiar el punto de consigna (set point) de control para el flujo, y permitirá grabar y mostrar cualquier condición de alarma como la pérdida de un flujo o una alta temperatura.

La realimentación del lazo de control es cerrada a través del RTU o el PLC; el sistema SCADA supervisa el desempeño general de dicho lazo.

2.2.5.2. APLICACIONES DEL SCADA

Para desarrollar un sistema SCADA es necesario un IDE en el cual diseñar, entre otras cosas:

- el aspecto que va a tener el SCADA
- las funciones y eventos que debe ejecutar cuando se interactúa con su interfaz HMI
- las operaciones y cálculos que debe realizar con los datos adquiridos

También funciona con los controladores lógicos establecidos por National Instrument tales como LABVIEW y MULTISIM PROTEUS entre otros incluso se establece conexión con micros controladores tales como el ARDUINO, haciendo a SCADA una herramienta bastante útil para los sistemas de control automatizado. Así pues, una de las soluciones en el control SCADA es utilizar la aplicación creada junto con un programa para monitorizar, controlar y automatizar señales analógicas y digitales, capturadas a través de tarjetas de adquisición de datos. Uno de los programas más utilizados para este fin es el LabView (National Instruments).

(Gómez et al., 2008)

2.2.6. SOFTWARE LabVIEW 2017

LabVIEW (acrónimo de Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido, pues acelera la productividad. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

Figura 2.5: LabVIEW 2017



Fuente: Wikipedia - LabVIEW 2017

Este programa fue creado por National Instruments (1976) para funcionar sobre máquinas MAC, salió al mercado por primera vez en 1986. Ahora está disponible para las plataformas Windows, UNIX, MAC y GNU/Linux. (<http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>)

2.2.6.1. LabVIEW APLICADO A LA INGENIERIA

LabVIEW ofrece un enfoque de programación gráfica que le ayuda a visualizar cada aspecto de su aplicación, incluyendo configuración de hardware, datos de medidas y depuración. Esta visualización hace que sea más fácil integrar hardware de medidas de

cualquier proveedor, representar una lógica compleja en el diagrama, desarrollar algoritmos de análisis de datos y diseñar interfaces de usuario personalizadas.

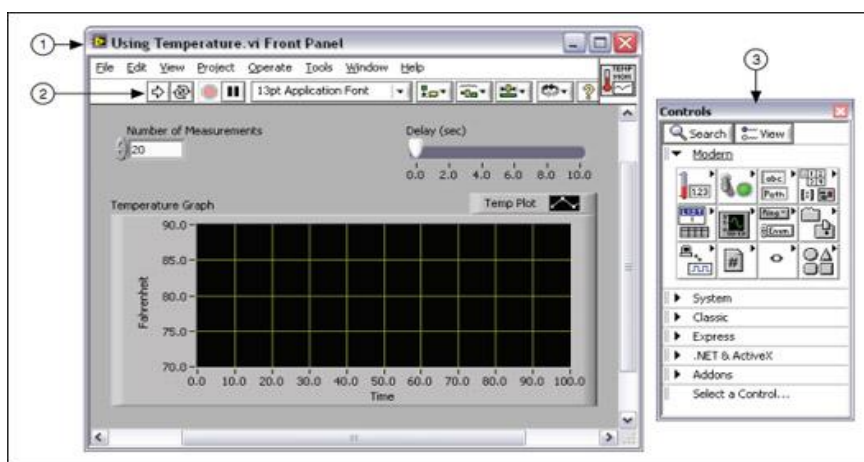
2.2.6.2. FUNDAMENTOS DEL ENTORNO DE LabVIEW

Los programas de LabVIEW son llamados instrumentos virtuales o VIs ya que su apariencia y operación generalmente imitan a los instrumentos físicos, como osciloscopios y multímetros.

2.2.6.3. PANEL FRONTAL

Cuando abre un VI nuevo o existente, aparece la ventana del panel frontal del VI. La ventana del panel frontal es la interfaz de usuario para el VI. La **Figura 2.6** muestra un ejemplo de una ventana del panel frontal.

Figura 2.6: Ejemplo de un Panel Frontal



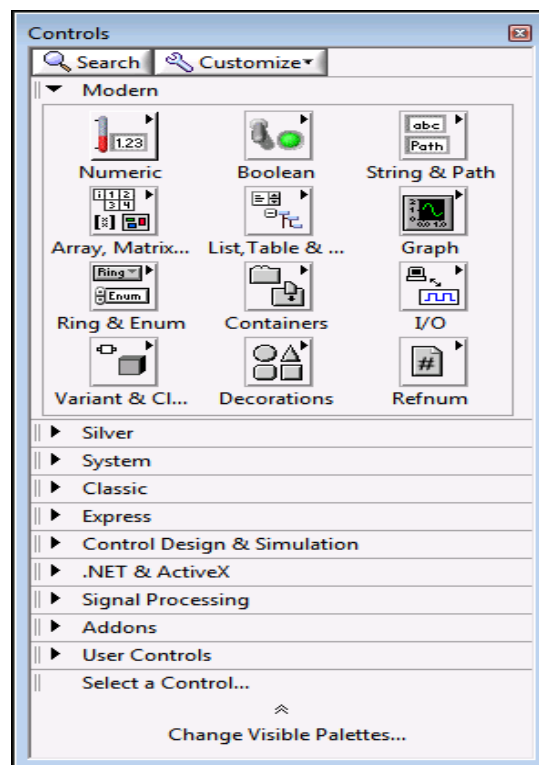
(1) Ventana de Panel Frontal | (2) Barra de Herramientas | (3) Paleta de Controles

Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>

2.2.6.4. PALETA DE CONTROLES

La paleta de Controles contiene los controles e indicadores que utiliza para crear el panel frontal. Puede tener acceso a la paleta de Controles de la ventana del panel frontal al seleccionar View»Controls Palette o al dar clic con botón derecho en cualquier espacio en blanco en la ventana del panel frontal.

Figura 2.7: Paleta de Controles



Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>

Controles e Indicadores

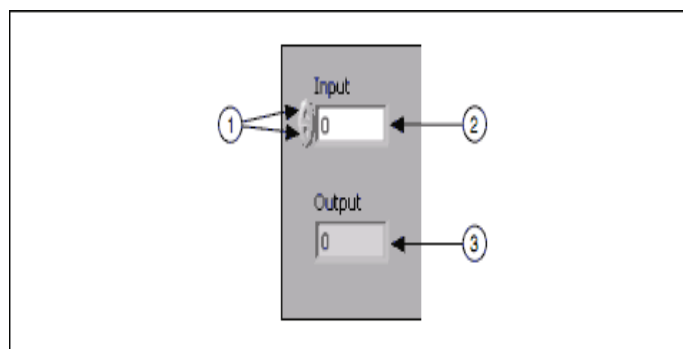
Los controles generalmente son perillas, botones, perillas, deslizadores y secuencias. Simulan dispositivos de entrada de instrumentos y suministran datos al diagrama de bloques del VI. Los indicadores generalmente son gráficas, tablas, LEDs y secuencias de estado. Los indicadores simulan dispositivos de salida de instrumentos y muestran los datos que diagrama de bloques adquiere o genera.

La **Figura 2.7** tiene dos controles: Number of Measurements y Delay (sec). Tiene un indicador: una gráfica XY llamada Temperature Graph.

Controles e Indicadores Numéricos

El tipo de datos numérico pueden representar números de varios tipos como un entero o real. Los dos objetos numéricos comunes son el control numérico y el indicador numérico, como se muestra en la **Figura 2.8**. Los objetos como medidores y perillas también representan datos numéricos.

Figura 2.8: Controles e Indicadores Numéricos



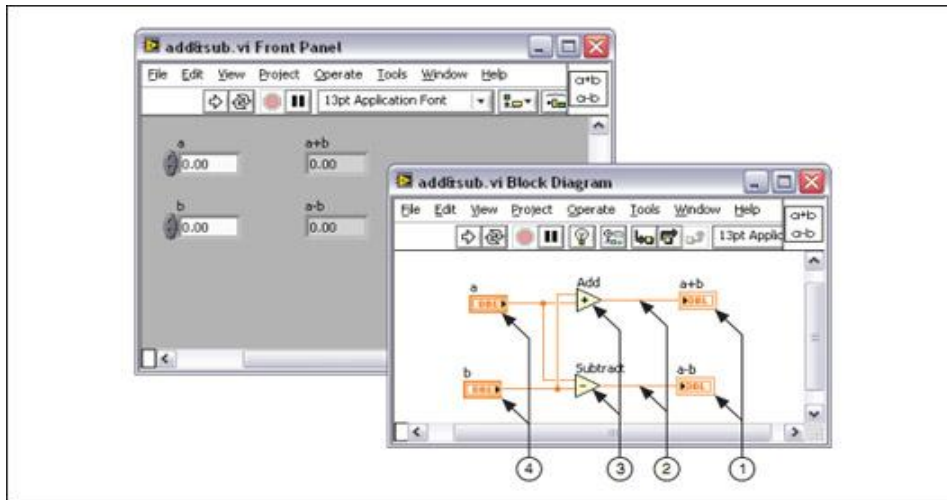
(1) Botones de Incremento/Reducción | (2) Control Numérico | (3) Indicador Numérico

Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>

Diagrama de Bloques

Los objetos del diagrama de bloques incluyen terminales, subVIs, funciones, constantes, estructuras y cables, los cuales transfieren datos junto con otros objetos del diagrama de bloques.

Figura 2.9: Ejemplo de un Diagrama de Bloques y Panel Frontal Correspondiente

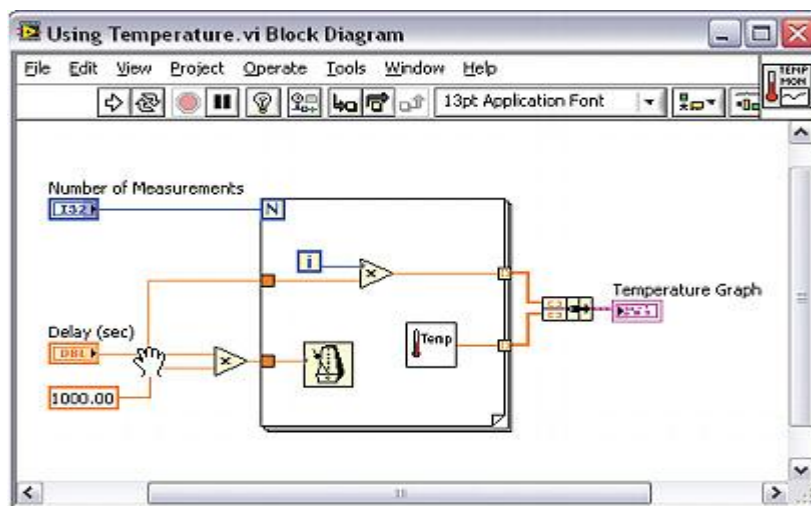


(1) Terminales de Indicador | (2) Cables | (3) Nodos | (4) Terminales de Control

Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>

Después de que crea la ventana del panel frontal, añada código usando representaciones gráficas de funciones para controlar los objetos del panel frontal. La ventana del diagrama de bloques contiene este código de fuente gráfica.

Figura 2.10: Diagrama de Bloques



Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

Terminales

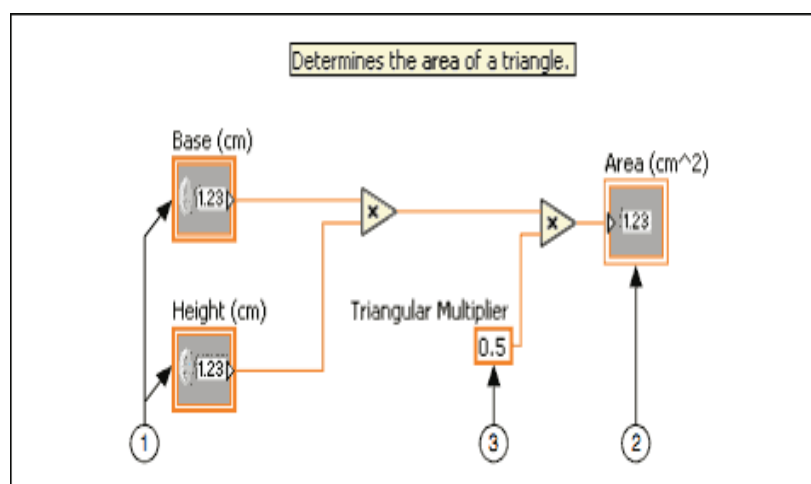
Los objetos en la ventana del panel frontal aparecen como terminales en el diagrama de bloques. Las terminales son puertos de entrada y salida que intercambian información entre el panel frontal y diagrama de bloques. Son análogos a parámetros y constantes en lenguajes de programación basados en texto. Los tipos de terminales incluyen terminales de control o indicador y terminales de nodo.

Controles, Indicadores y Constantes

Los controles, indicadores y constantes se comportan como entradas y salidas del algoritmo del diagrama de bloques.

La **Figura 2.11** muestra una posible implementación de este algoritmo en un diagrama de bloques de LabVIEW. Este diagrama de bloques tiene cuatro terminales diferentes creadas por dos controles, una constante y un indicador.

Figura 2.11: Diagrama de Bloques del Área de un Triángulo con Vista de Terminal de Ícono



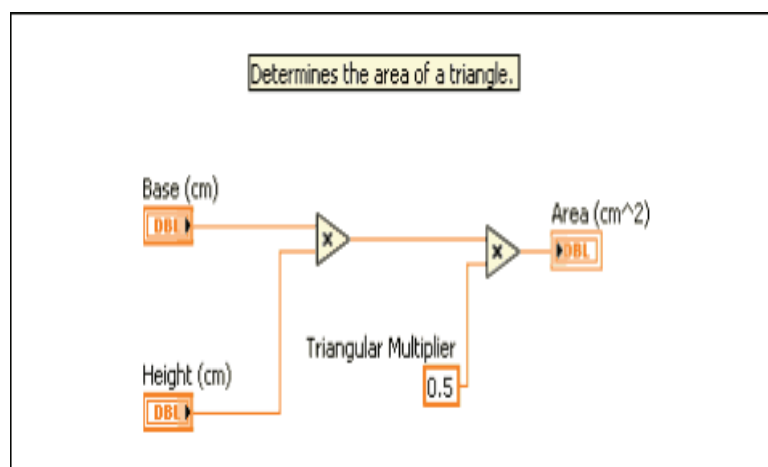
(1) Controles | (2) Indicador | (3) Constante

Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa>

Note que las terminales del diagrama de bloques Base (cm) y Altura (cm) tienen una apariencia diferente de la terminal Área (cm²). Existen dos características distintivas entre un control y un indicador en el diagrama de bloques. La primera es una flecha en la terminal que indica la dirección del flujo de datos. Los controles tienen flechas que muestran los datos que salen de la terminal, mientras que el indicador tiene una flecha que muestra los datos que entran a la terminal. La segunda característica distintiva es el borde alrededor de la terminal.

La **Figura 2.12** muestra el mismo diagrama de bloques sin usar la vista de ícono de las terminales; sin embargo, existen las mismas características distintivas entre los controles y los indicadores.

Figura 2.12: Diagrama de Bloques del Área de un Triángulo



Fuente: <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa>

Nodos de Diagrama de Bloques

Los nodos son objetos en el diagrama de bloques que tienen entradas y/o salidas y realizan operaciones cuando el VI se ejecuta. Son análogos a instrucciones, operaciones, funciones y sub rutinas en lenguajes de programación basados en texto. Los nodos pueden

ser funciones, subVIs, Express VIs o estructuras. Las estructuras son elementos de control de procesos, como Estructuras de Casos, Ciclos For o Ciclos While.

Funciones

Las funciones son los elementos de operación fundamentales de LabVIEW. Las funciones no tienen ventanas del panel frontal o ventanas del diagrama de bloques pero no tienen paneles conectores.

SubVIs

Un nodo de subVI corresponde a una llamada de subrutina en lenguajes de programación basados en texto. El nodo no es subVI, solamente una instrucción de llamada de subrutina en un programa que no es la propia subrutina. Un diagrama de bloques que contiene varios nodos de subVI idénticos llama al mismo subVI varias veces.

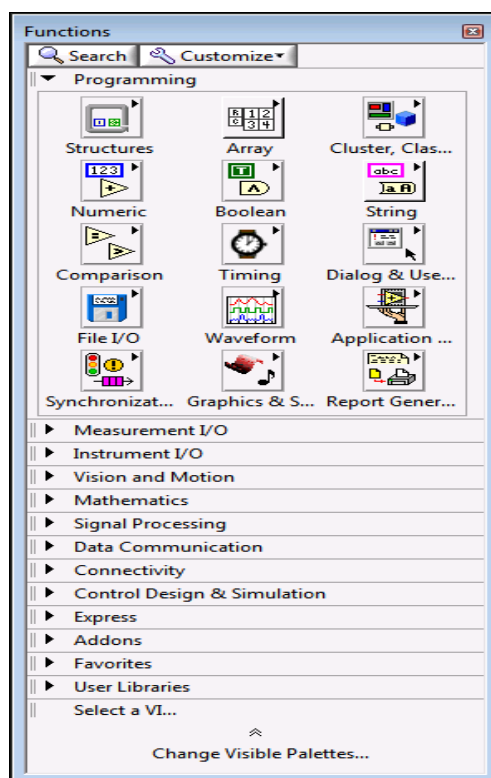
Express VIs

Los Express VIs son nodos que requieren cableado mínimo ya que usted los configura con ventanas de diálogo. Use Express VIs para tareas de medidas comunes. Consulte el tema de Express VIs de la Ayuda de LabVIEW para más información. Aparecen en el diagrama de bloques como nodos expandibles con iconos rodeados por un campo azul.

Paleta de Funciones

La paleta de Funciones contiene los VIs, funciones y constantes que usted utiliza para crear el diagrama de bloques. La paleta de Funciones está dividida en varias categorías; usted puede mostrar y esconder categorías para cumplir con sus necesidades. (<http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa/>)

La Figura 2.13 muestra la paleta de Funciones con todas las categorías expuestas y la categoría de Programación expandida.

Figura 2.13: Paleta de Funciones


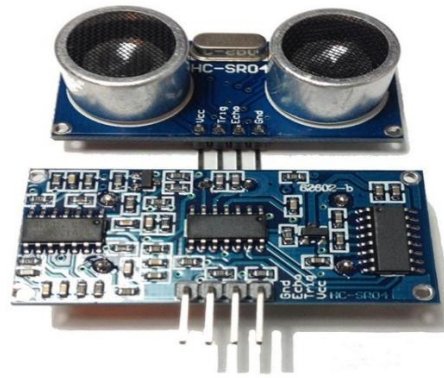
Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>

2.2.7. SENSOR ULTRASONICO HC-SR04

2.2.7.1. DEFINICION

Como su nombre lo indica, los sensores ultrasónicos miden la distancia mediante el uso de ondas ultrasónicas. El cabezal emite una onda ultrasónica y recibe la onda reflejada que retorna desde el objeto. Los sensores ultrasónicos miden la distancia al objeto contando el tiempo entre la emisión y la recepción.

Lo más singular del sensor de ultrasonidos HC-SR04 es quizás su "par de ojos", estos no son más que un emisor y un receptor de ultrasonidos que trabajan a una frecuencia de 40KHz (una frecuencia inaudible para las personas). (<https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>)

Figura 2.14: Sensor Ultrasónico

Fuente: [http://. www.tautvidas.com](http://www.tautvidas.com) sensor

2.2.7.2. DIAGRAMA DE CONEXIÓN

El sensor tiene 4 pines, uno es VCC otro GND un pin de trigger donde enviamos un pulso al sensor para inicializarlo y de alguna manera decirle (*comenzar a enviar información*) y otro pin más Echo donde nos viene el resultado final a la placa de arduino.

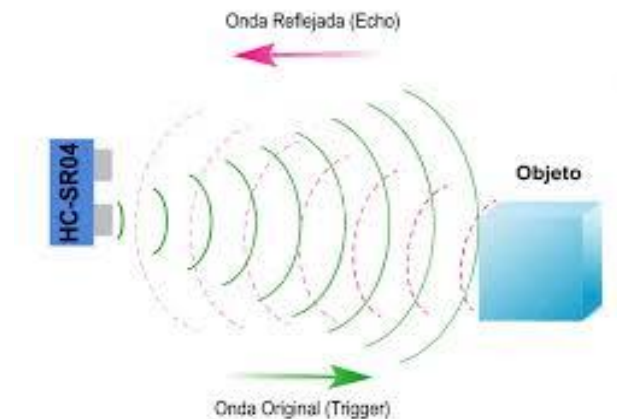
Se necesitan pocos materiales para implementar este ejemplo.

1. Sensor hc-sr04
2. Placa Arduino
3. Algunos cables
4. Protoboard

2.2.7.3. FUNCIONAMIENTO

El principio en el que se basa su funcionamiento es muy sencillo, tan solo hay que generar una onda sónica en el emisor mediante un pulso en la plantilla que pone “trig” (trigger o disparador), esta onda al encontrarse con algún obstáculo rebotara, volviendo al sensor y siendo registrada por el receptor, traduciéndose esta en un pulso en la plantilla “echo”.

(<https://www.keyence.com.mx/ss/products/sensor/sensorbasics/ultrasonic/info/>)

Figura 2.15: Funcionamiento de sensor Ultrasónico

Fuente: <https://www.zonamaker.com/arduino/modulos-sensores-y-shields/ultrasonido-hc-sr04>

2.2.8. SENSOR DE FLUJO DE CAUDAL

2.2.8.1. CONCEPTO

El sensor de flujo es un dispositivo que, instalado en línea con una tubería, permite determinar cuándo está circulando un líquido o un gas. Estos son del tipo apagado/encendido; determinan cuándo está o no circulando un fluido, pero no miden el caudal. Para medir el caudal se requiere un caudalímetro.

Figura 2.16: Sensor de Caudal

Fuente: <https://naylampmechatronics.com>

El sensor de caudal para aplicaciones industriales usa diferentes principios de medición. Por ejemplo, el sensor de caudal para líquidos funciona sobre la base del

ultrasonido. Esta medición sin contacto tiene la ventaja que los sensores son insensibles a la presión y piezas sólidas que puede haber en el líquido. Otro tipo de sensor de caudal se usa en las técnicas HVAC para determinar la velocidad del aire. El uso de un hilo térmico permite medir temperaturas y caudales en un amplio rango de medición.

(www.pce-instruments.com/espanol/sistemas-regulacion-control/sensorica/sensor-de-caudal-kat)

2.2.9. NI MYRIO

NI myRIO es un hardware embebido diseñado específicamente para ayudar a los estudiantes a desarrollar sistemas de ingeniería avanzados, de manera más rápida y económica que antes. NI myRIO tiene un procesador dual-core ARM Cortex-A9 completamente programable que ejecuta un SO en tiempo real, así como un FPGA personalizado.

MyRIO es una junta de evaluación integrada en tiempo real hecha por National Instruments . Requiere LabVIEW . Está orientado a estudiantes y aplicaciones básicas.

Figura 2.17: NI MyRio



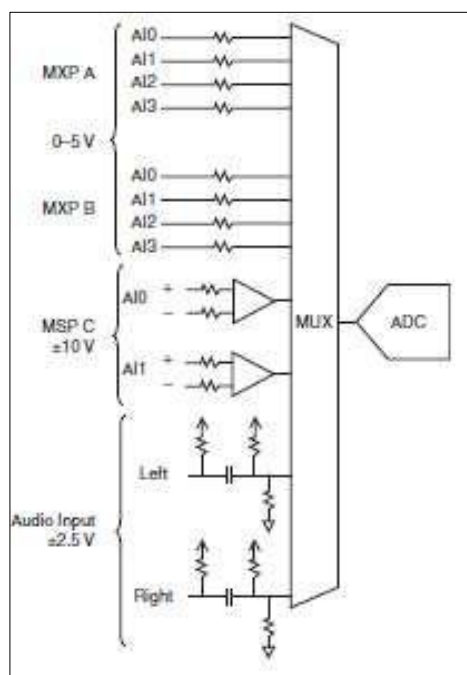
Fuente: <http://www.ni.com/product-documentation/14603/es/07>

Por medio de sus componentes internos, acceso a software y una biblioteca con recursos y tutoriales, myRIO ofrece una herramienta accesible que ayuda a los estudiantes. (<http://www.ni.com/product-documentation/14603/es/07>)

2.2.9.1. CANALES DE ENTRADA ANALÓGICA

NI myRIO tiene canales de entrada analógica en los conectores A y B de los puertos de expansión (MXP), en el conector C del puerto Mini Sistema (MSP), y un conector de entrada de audio estéreo. Las entradas analógicas + se multiplexan a un convertidor único de analógico a digital (ADC) que las muestras de todos los canales

Figura 2.18: Circuito de entrada analógica



Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

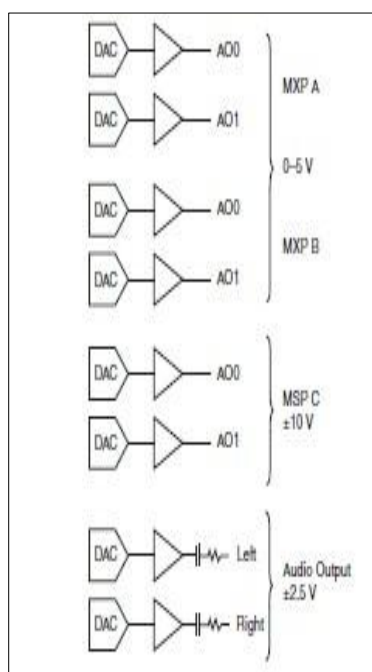
2.2.9.2. CANALES DE SALIDA ANALÓGICA

NI myRIO tiene canales de salida analógica en los conectores A y B de los puertos de expansión (MXP), en el conector C del puerto Mini Sistema (MSP), y un conector de entrada de audio estéreo. Cada canal de salida analógica tiene un convertidor dedicado digital a analógico (DAC), para que todos puedan actualizarse simultáneamente. Los

DAC para los canales de salida analógica son controlados por dos buses de comunicación en serie de la FPGA. Los conectores A y B MXP comparten un bus, y el conector C MSP y las salidas de audio comparten un segundo bus. Por lo tanto, la tasa máxima de actualización se especifica de manera agregada en la sección de salida analógica de las

Especificaciones. Los conectores A y B MXP tienen dos canales de salida analógicos por conector, AO0 y SA1, que se puede utilizar para generar señales de 0-5 V.

Figura 2.19: Circuito de salida analógica

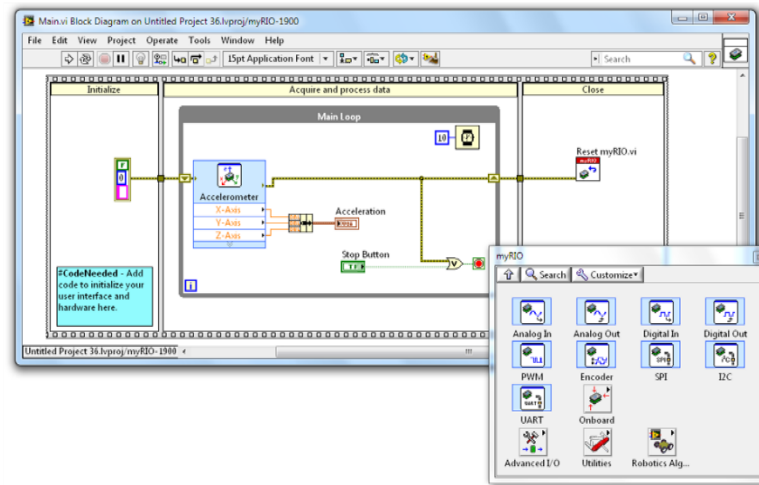


Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

2.2.9.3. ACELERÓMETRO

NI myRIO contiene un acelerómetro de tres ejes.

Además, se puede escribir programas rápidamente usando Express VIs específicos de E/S desde la paleta de LabVIEW.

Figura 2.20: Programas desarrollados con MyRio en LabVIEW

Fuente: <http://www.ni.com/product-documentation/14603/es/07>

Además se puede programar con VIs de E/S Avanzadas de NI myRIO y aprender más sobre la arquitectura "open, read/write, close", la cual es común en programación de LabVIEW. (<http://www.ni.com/product-documentation/14603/es/07>)

2.2.10. VARIADOR DE VELOCIDAD

2.2.10.1. CONCEPTO

El Variador de Velocidad (VSD, por sus siglas en inglés Variable Speed Drive) es en un sentido amplio un dispositivo o conjunto de dispositivos mecánicos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos empleados para controlar la velocidad giratoria de maquinaria, especialmente de motores. También es conocido como Accionamiento de Velocidad Variable (ASD, también por sus siglas en inglés Adjustable-Speed Drive). De igual manera, en ocasiones es denominado mediante el anglicismo Drive, costumbre que se considera inadecuada. La maquinaria industrial generalmente es accionada a través de motores eléctricos, a velocidades constantes o variables, pero con valores precisos. No obstante, los motores eléctricos generalmente operan a velocidad constante o casi-constante, y con valores que dependen del abastecimiento y de las características propias

del motor, los cuales no se pueden modificar fácilmente. Para lograr regular la velocidad de los motores, se emplea un controlador de equipos especiales que recibe el nombre de variador de velocidad. Los variadores de velocidad se emplean en una amplia gama de aplicaciones industriales, como en ventiladores y equipo de aire acondicionado, equipo de bombeo, bandas y transportadores industriales, elevadores, llenadoras, tornos y fresadoras, etc. (Cowie, Charles J. 2001)

Figura 2.21: Variador de Velocidad



Fuente: SIEMENS, 2016

2.2.10.2. Características de los variadores de velocidad

Los variadores de velocidad electrónicos poseen las siguientes características:

- Un software de control específico para bombeos de hasta 5 bombas fijas más una variable, con diferentes sistemas de alternancia entre bombas o máquinas.
- Protección especial ante altas temperaturas e inclemencias meteorológicas.
- Filtros armónicos que garantizan una buena calidad de la energía eléctrica que suponen la mejor decisión a la hora de controlar cualquier sistema de bombeo.

(<https://www.traxco.es>)

2.2.11. CONTACTORES

Un contactor es un dispositivo con capacidad de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.

2.2.11.1. Constitución de un contactor electromagnético.

- **Contactos principales.** Son los destinados a abrir y cerrar el circuito de potencia. Están abiertos en reposo.
- **Contactos auxiliares.** Son los encargados de abrir y cerrar el circuito de mando. Están acoplados mecánicamente a los contactos principales y pueden ser abiertos o cerrados.
- **Bobina.** Elemento que produce una fuerza de atracción (FA) al ser atravesado por una corriente eléctrica. Su tensión de alimentación puede ser de 12, 24 y 220V de corriente alterna, siendo la de 220V la más usual.
- **Armadura.** Parte móvil del contactor. Desplaza los contactos principales y auxiliares por la acción (FA) de la bobina.
- **Núcleo.** Parte fija por la que se cierra el flujo magnético producido por la bobina.
- **Resorte.** Es un muelle encargado de devolver los contactos a su posición de reposo una vez cesa la fuerza FA. (<https://www.traxco.es>)

2.2.11.2. Funcionamiento del contactor.

A los contactos principales se conectan al circuito que se quiere gobernar. Asegurando el establecimiento y cortes de las corrientes principales y según el número de vías de paso de corriente, será bipolar, tripolar, tetra polar, etc. realizándose las maniobras simultáneamente en todas las vías.

Los contactos auxiliares son de dos clases abiertos y cerrados. Estos forman parte del circuito auxiliar del contactor y aseguran las auto alimentaciones, los mandos, enclavamientos de contactos y señalizaciones en los equipos de automatismo.

Figura 2.22: Contactor convencional



Fuente: SCHNEIDER E., 2016

2.2.12. TERMOMAGNETICOS

Un interruptor magneto térmico, interruptor termo magnético o llave térmica, es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. Su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

Al igual que los fusibles, los interruptores magneto térmicos protegen la instalación contra sobrecargas y cortocircuitos.

2.2.12.1. FUNCIONAMIENTO

Al circular la corriente por el electroimán, crea una fuerza que, mediante un dispositivo mecánico adecuado (M), tiende a abrir el contacto C, pero sólo podrá abrirlo si la intensidad I que circula por la carga sobrepasa el límite de intervención fijado.

Este nivel de intervención suele estar comprendido entre tres y veinte veces (según la letra B, C, D, etc.) la intensidad nominal (la intensidad de diseño del interruptor magneto térmico) y su actuación es de aproximadamente unas 25 milésimas de segundo, lo cual lo hace muy seguro por su velocidad de reacción.

Esta es la parte destinada a la protección frente a los cortocircuitos, donde se produce un aumento muy rápido y elevado de corriente.

La otra parte está constituida por una lámina bimetálica (representada en rojo) que, al calentarse por encima de un determinado límite, sufre una deformación y pasa a la posición señalada en línea de trazos lo que, mediante el correspondiente dispositivo mecánico (M), provoca la apertura del contacto C.

Esta parte es la encargada de proteger de corrientes que, aunque son superiores a las permitidas por la instalación, no llegan al nivel de intervención del dispositivo magnético.

Esta situación es típica de una sobrecarga, donde el consumo va aumentando conforme se van conectando aparatos.

Figura 2.23: Termo magnético convencional



Fuente: <http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Instalac%20Caminos.pdf>

Ambos dispositivos se complementan en su acción de protección, el magnético para los cortocircuitos y el térmico para las sobrecargas. Además de esta desconexión automática, el aparato está provisto de una palanca que permite la desconexión manual de la corriente y el rearme del dispositivo automático cuando se ha producido una desconexión. No obstante, este rearme no es posible si persisten las condiciones de sobrecarga o cortocircuito.

(<http://personales.unican.es/rodrigma/PDFs/Instalac%20Caminos.pdf>)

2.2.13. INVERSOR DE CORRIENTE AC/DC

2.2.13.1. CONCEPTO

Un inversor es un dispositivo que cambia o transforma un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador.

2.2.13.2. APLICACIONES

Los inversores se utilizan en una gran variedad de aplicaciones, desde pequeñas fuentes de alimentación para computadoras, hasta aplicaciones industriales para controlar alta potencia. Los inversores también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, acumuladores o baterías, etc, en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

El aire acondicionado inversor o inverter, es un tipo de acondicionador de aire que utiliza un inversor de potencia para fijar la velocidad del motor del compresor y así dejar constante la temperatura, con lo que se ahorra un mínimo del 40% de la electricidad.

2.2.13.3. FUNCIONAMIENTO

Un inversor simple consta de un oscilador que controla a un transistor, el cual se utiliza para interrumpir la corriente entrante y generar una onda rectangular. Esta onda rectangular alimenta a un transformador que suaviza su forma, haciéndola parecer un poco más una onda senoidal y produciendo el voltaje de salida necesario. La forma de onda de salida del voltaje de un inversor ideal debería ser sinusoidal. Una buena técnica para lograr esto es utilizar la técnica de PWM logrando que la componente principal senoidal sea mucho más grande que las armónicas superiores.

Los inversores más modernos han comenzado a utilizar formas más avanzadas de transistores o dispositivos similares, como los tiristores, los triac , IGBT y MOSFETS.

Figura 2.24: Inversores de corriente AC/DC



Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica))

Los inversores más eficientes utilizan varios filtros electrónicos para tratar de llegar a una onda que simule razonablemente a una onda senoidal en la entrada del transformador, en vez de depender de éste para suavizar la onda.

Se pueden clasificar en dos tipos: 1) inversores monofásicos y 2) inversores trifásicos.

([https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica)))

2.2.14. ELECTRO BOMBA

Un motor eléctrico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Los motores eléctricos de tracción usados en locomotoras realizan a menudo ambas tareas, si se los equipa con frenos regenerativos.

Figura 2.25: Motor de Bomba de agua



Fuente: CODESOLAR - Bomba-PK-PKM-60-100, (tomada 17 de agosto del 2016)

Son ampliamente utilizados en instalaciones industriales, comerciales y particulares. Pueden funcionar conectados a una red de suministro eléctrico o a baterías. Así, en automóviles se están empezando a utilizar en vehículos híbridos para aprovechar las ventajas de ambos. (CODESOLAR - Bomba-PK-PKM-60-100)

CAPITULO III

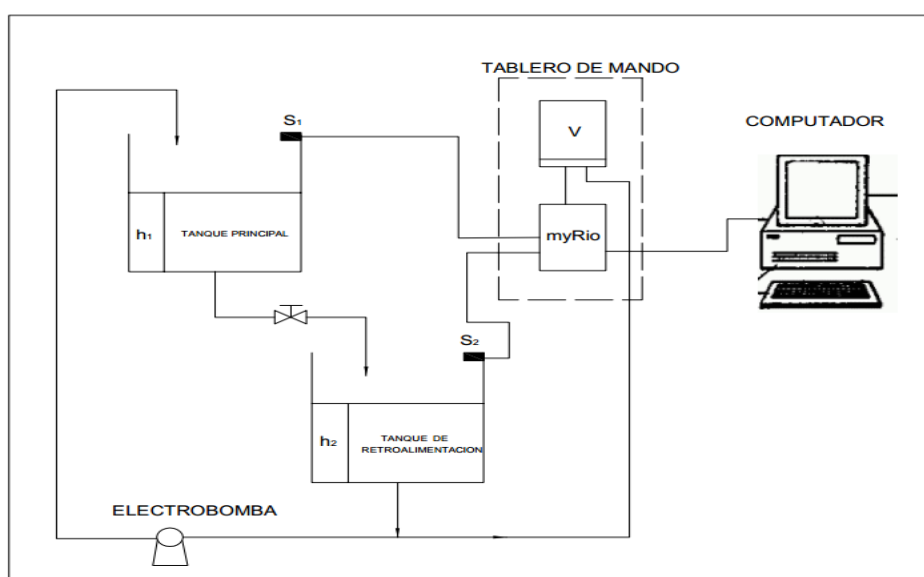
MATERIALES Y METODOS

3.1. INTRODUCCION A LA SOLUCION

El presente proyecto de tesis pretende controlar el nivel de líquido por medio de actuadores, sensores y una técnica de control difusa. Todos han sido implementados con circuitos y componentes mecánico-electrónicos. Su uso está orientado directamente en el laboratorio de control y automatización de la EPIME.

La solución consiste en el diseño de un sistema de control difuso que permita controlar el nivel de líquido de la planta de manera más eficiente y real. El controlador difuso será diseñado en la plataforma LabVIEW y con el equipo myRio, este control difuso estará conectado a un módulo compuesto por dos tanques de agua (principal y de retroalimentación), bomba de agua, sensores ultrasónicos, variador de velocidad, válvulas y elementos del sistema eléctrico.

Figura 3.1: Diagrama general de la planta



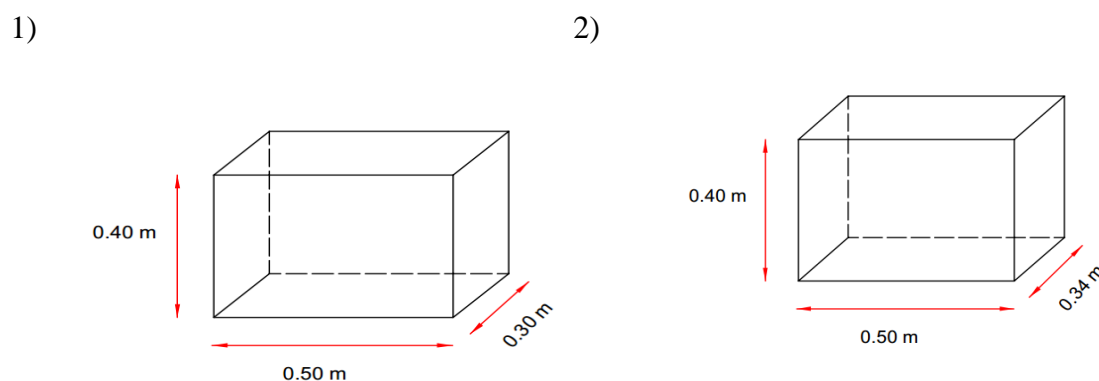
Elaboración: propia

A continuación, se detallan cada uno de los materiales:

3.1.1. TANQUES DE AGUA:

El tanque de agua a usar en el proyecto es de aproximadamente de 60 litros, de los cuales solo se llenara a un máximo de 52 litros por seguridad, y sus dimensiones son aproximadamente de 40 cm de altura , 50 cm de largo y 34 cm de ancho.

Figura 3.2: 1) Tanque principal y 2) Tanque de retroalimentación



Elaboración: propia

3.1.2. BOMBA DE AGUA

La bomba a usar en la presente tesis es una bomba de 0.25 HP electrobomba.

Esta es una máquina para bombear agua y líquidos no corrosivos, como agua de pozos, de acumulación de agua en estanques, para riego de jardines y para aumentar la presión en conexiones domiciliarias

Figura 3.3: Bomba de Agua utilizado en el proyecto



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/bombas-ideal/product-40807-610090.html>

Tabla 3.1: características de la bomba de Agua

Modelo	MG995
Marca	Digital
Tamaño	40*19.7*42.9 mm
Amperaje	1.23 A
Frecuencia	60 Hz
Angulo de Rotacion	Maximo 180°
Voltaje	220 V
Tipo de Motor	3 Polos

Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/bombas-ideal/product-40807-610090.html>

3.1.3. VARIADOR DE VELOCIDAD

Se usó un Variador de velocidad para motores asíncronos

Figura 3.4: Variador de Velocidad utilizado en el proyecto



Fuente: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/variadores-de-velocidad>

Tabla 3.2: Características del variador de velocidad

Modelo	ALTIVAR 11
Marca	Schneider Electric
Corriente de Operación	8,6 A
Frecuencia	60 Hz
Serie	ATV11HU09M2A
Voltaje de Operación	230 V

Fuente: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/variadores-de-velocidad>

3.1.4. ADAPTADOR AC/DC:

Adaptador AC/DC para salida digital-USB

Tabla 3.3: Características del Adaptador AC/DC

Modelo	INTELLIGENT ADAPTADOR
Voltaje de Operación	Tech
Voltaje	AC 90 - 240V
Rango de Voltaje de Operación	3/4.2/5/6/6.5 V
Potencia	21 W.
Corriente de Operación	0.250mA
Frecuencia	50/60 Hz

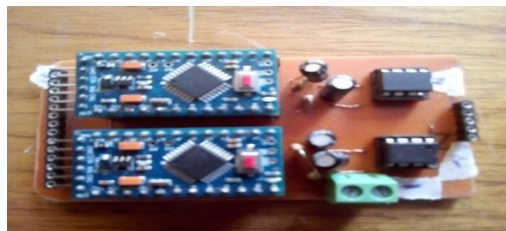
Fuente: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/inversores>

3.1.5. PLACA PARA LA TRASFORMACIÓN DE SEÑALES

Se usó una placa diseñada para realizar la transformación de las señales emitidas por los sensores (ultrasónicos y de caudal) de señales por modulación de ancho de pulso a señales analógicas que serán recepcionadas por el myRio. Esta placa consta de:

- Resistencia
- Condensador
- Un amplificador operacional
- 02 Arduino Nano

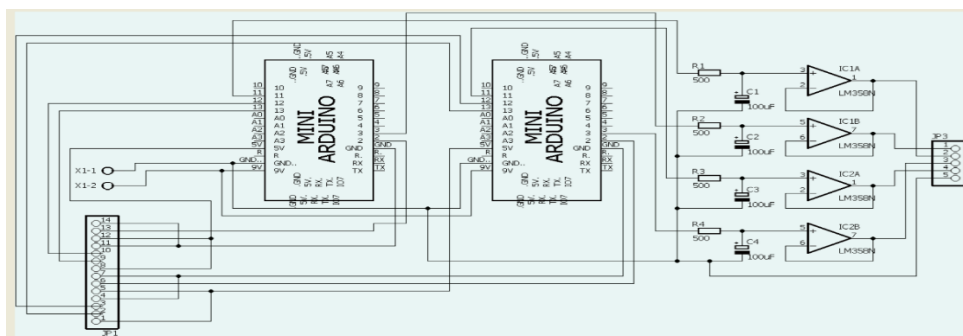
Figura 3.5: Placa para la transformación de señales



Elaboración: propia

En la siguiente figura se muestra el esquema eléctrico de los sensores incorporados en la placa para la transformación de las señales:

Figura 3.6: Esquema eléctrico de los sensores

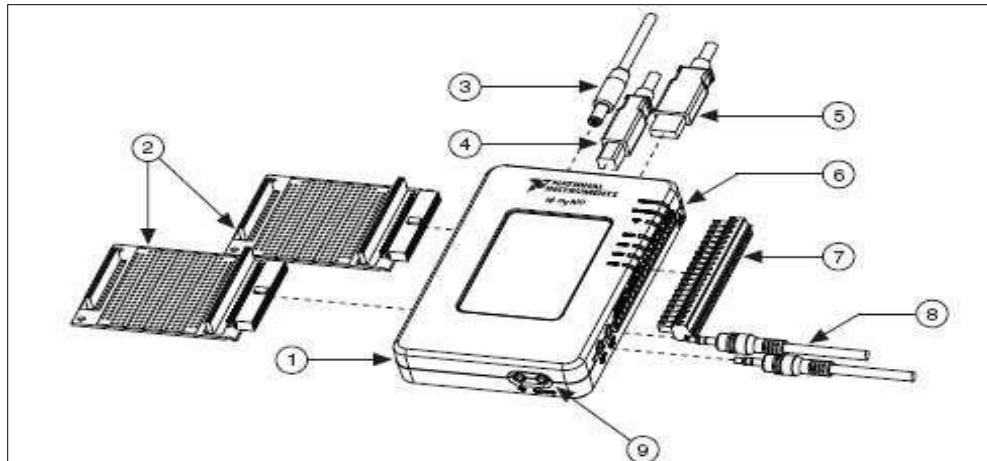


Elaboración: Propia

3.1.6. MyRIO 1900

En el presente proyecto de tesis se usó MyRIO 1900, que es una junta de evaluación integrada en tiempo real hecha por National Instruments

Figura 3.7: Partes del myRio 1900



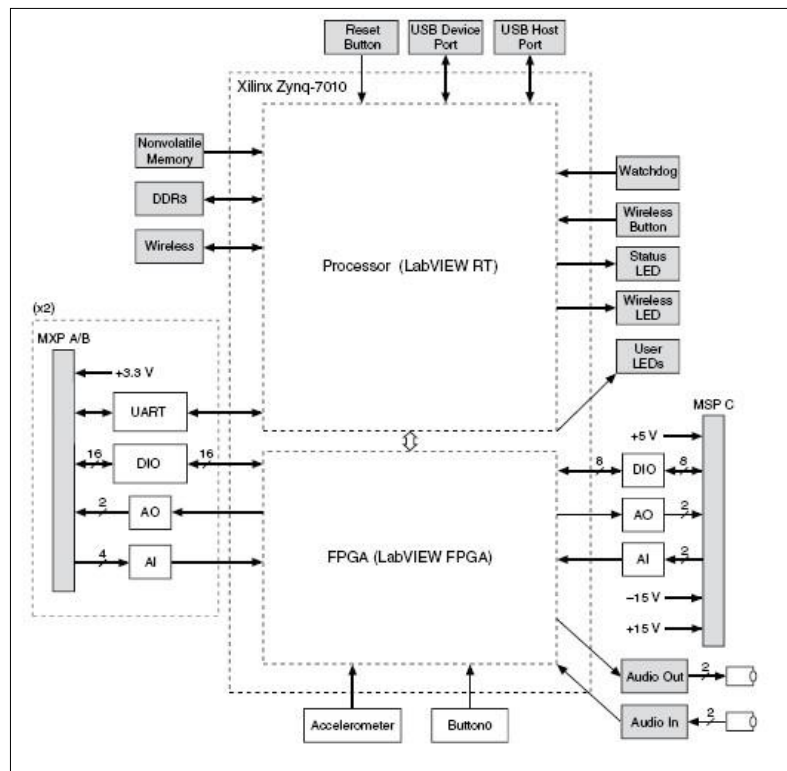
Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

1. NI myRIO-1900
2. Puertos de expansión
3. Cable de alimentación
4. Cable USB del dispositivo
5. Cable USB Host
6. LEDs
7. Mini puerto del sistema de terminales
8. Cables In/Out Audio
9. Botones

3.1.6.1. DESCRIPCION DEL HADWARE

El controlador NI myRIO-1900 proporciona entrada analógica (AI), salida analógicas (AO) entradas y salidas digitales (DIO), audio, alimentación de salida en el dispositivo embebido. La siguiente figura muestra la disposición y funciones de los componentes de NI myRIO-1900. Se conecta a un ordenador mediante USB o mediante red inalámbrica.

Figura 3.8: Diagrama de Bloques del hadware NI my Rio 1900

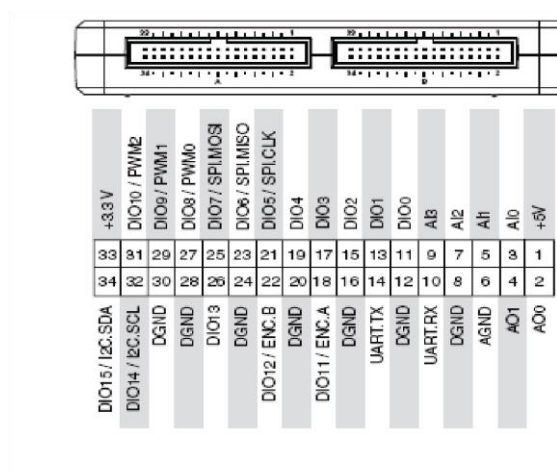


Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

3.1.6.2. DISPOSICIÓN DE LOS PINES

En los puertos de expansión MXP A y B de NI-1900 myRIO los conectores llevan grupos idénticos de señales. Las señales se distinguen en el software por el nombre del conector, como en ConnectorA / ESD1 y ConnectOrb / ESD1.. La figura y la tabla muestran las señales de los conectores A y B en MXP. Algunos pines llevan funciones secundarias, así como funciones primarias.

Figura 3.9: Señales primarias/secundarias en los conectores A y B Mxp



Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

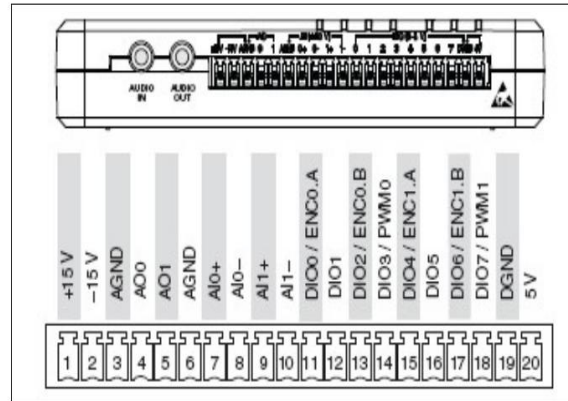
Tabla 3.4: Descripciones de señales en los conectores A y B Mxp

Nombre de la señal	Referencia	Dirección	Descripción
+5V	DGND	Salida	+5V tensión de salida
AI <0..3>	AGND	Entrada	Entradas de 0-5V.
AO <0..1>	AGND	Salida	Salidas de 0-5V.
AGND	N/A	N/A	Referencia para entradas y salidas analógicas.
+3.3V	DGND	Salida	+3.3V tensión de salida.
DIO <0..15>	DGND	Entrada o salida	Líneas digitales de propósito general con 3,3 V de salida, 3,3 V / entrada compatible con 5V.
UART.RX	DGND	Entrada	Entrada UART. Las líneas UART son eléctricamente idénticas a la DIO.
UART.TX	DGND	Salida	Salida UART. Las líneas UART son eléctricamente idénticas a la DIO.
DGND	N/A	N/A	De referencia para señales digitales, + 5V y 3,3 V.

Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

La siguiente figura muestra las señales en el mini puerto del sistema (MSP) conector C. Algunos pines llevan funciones secundarias, así como funciones primarias.

Figura 3.10: señales en el mini puerto del sistema (MSP) conector C.



Fuente: <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>

3.1.7. SENSOR DE CAUDAL

Este sensor de flujo está construido de plástico sólido, de fácil instalación en un sistema de tuberías estándar (1/2"), mide el flujo del agua por medio de un rotor de agua interno que activa un sensor de efecto Hall, este envía pulsos por cada rotación. El sensor está aislado del agua y el rotor, de manera que siempre se mantiene seco y seguro.

Figura 3.11: sensor de caudal utilizado en el proyecto



Fuente: <http://www.tautvidas.com> sensor

Tabla 3.5: Características del sensor de caudal

Modelo	YF-S201
Voltaje de Operación	5V - 18V DC
Corriente de Operación	15mA
Temperatura de Funcionamiento	2cm
Presion de Funcionamiento Maximo	-25°C A 80°C
Rango de Funcionamiento	1-30 L/min
Volumen Promedio por Pulso	2.25 mL

Fuente: <https://sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>

3.1.8. SENSOR ULTRASONICO

Para el presente proyecto se utilizará el sensor de ultrasónico HC-SR04, el cual pertenece a la familia arduino y se usa por la facilidad en la captura de datos. Las características del sensor se observa en la Tabla 6.

Figura 3.12: sensor ultrasónico utilizado en el proyecto

Fuente: [http://. www.tautvidas.com](http://www.tautvidas.com) sensor

Tabla 3.6: Características del sensor ultrasónico

Voltaje de Alimentacion	5V
Coerriente	15mA
Rango Maximo	5m
Rango Mnimo	2cm
Angulo de Medicion	15°
Señal Entrada	Puslo TLT
Angulo de Rotacion	45x20x15 mm

Fuente: <http://panamahitek.com/sensor-ultrasonico-hc-sr04-arduino>

3.2. DISEÑO Y CONSTRUCCION DE LA ESTRUCTURA SOPORTE DE LA PLANTA

3.2.1. ESTRUCTURA DE SOPORTE

En la elaboración de la estructura de la planta se utilizaron soportes metálicos, esto para base y soporte de los tanques (principal y de alimentación), la bomba AC y para el tablero de mando como se ve en el plano 01(**Figura 3.13**)

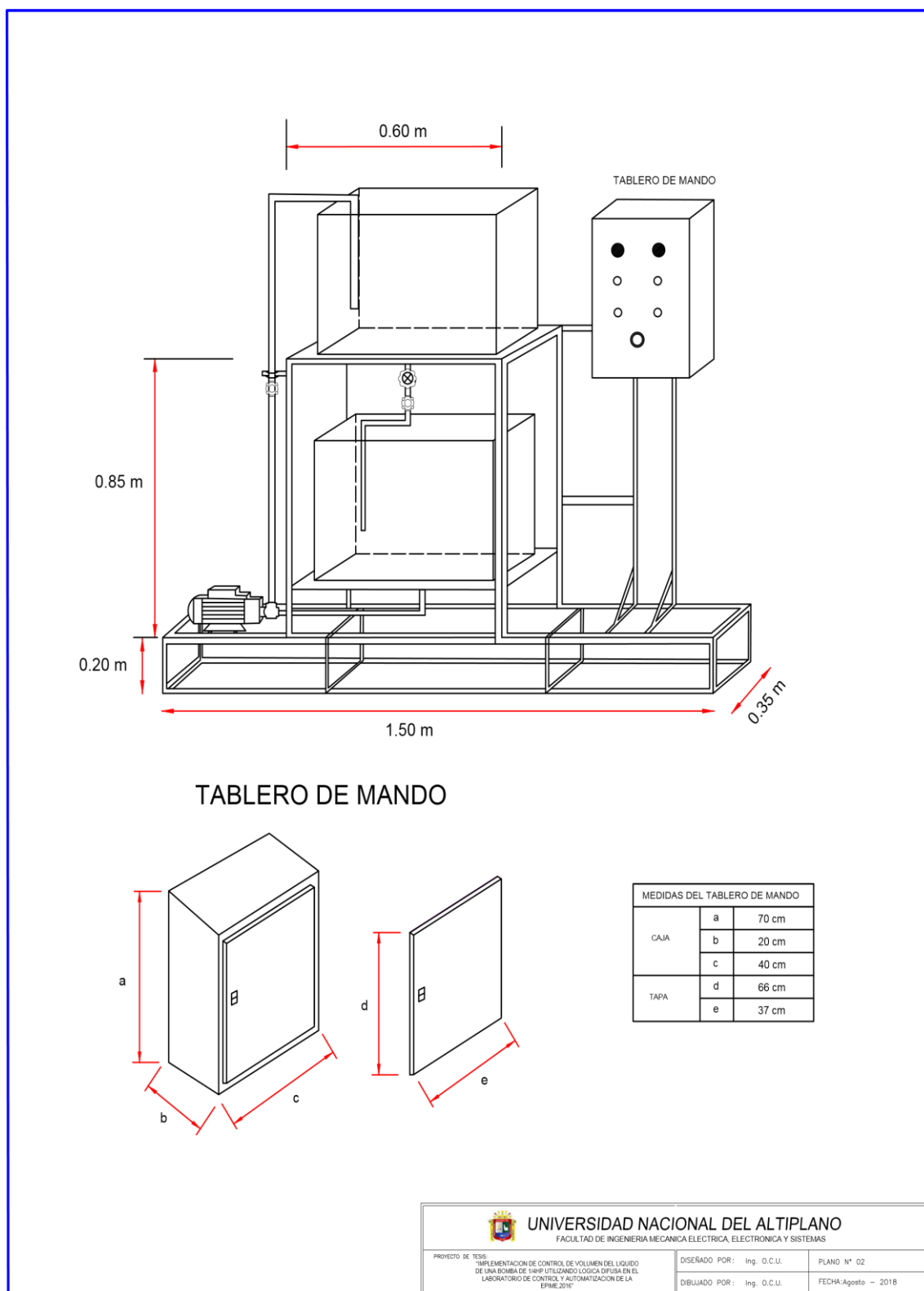
3.2.2. DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRICOS

Detallaremos el diseño y las instalaciones eléctricas realizadas en la planta, el plano 01 presenta el diseño del circuito unifilar desde la alimentación y las instalaciones que irán directamente a la bomba y a los sensores.

Además, este plano muestra dos sistemas, el primero es para controlar manualmente el sistema y el segundo para el control difuso del actuador

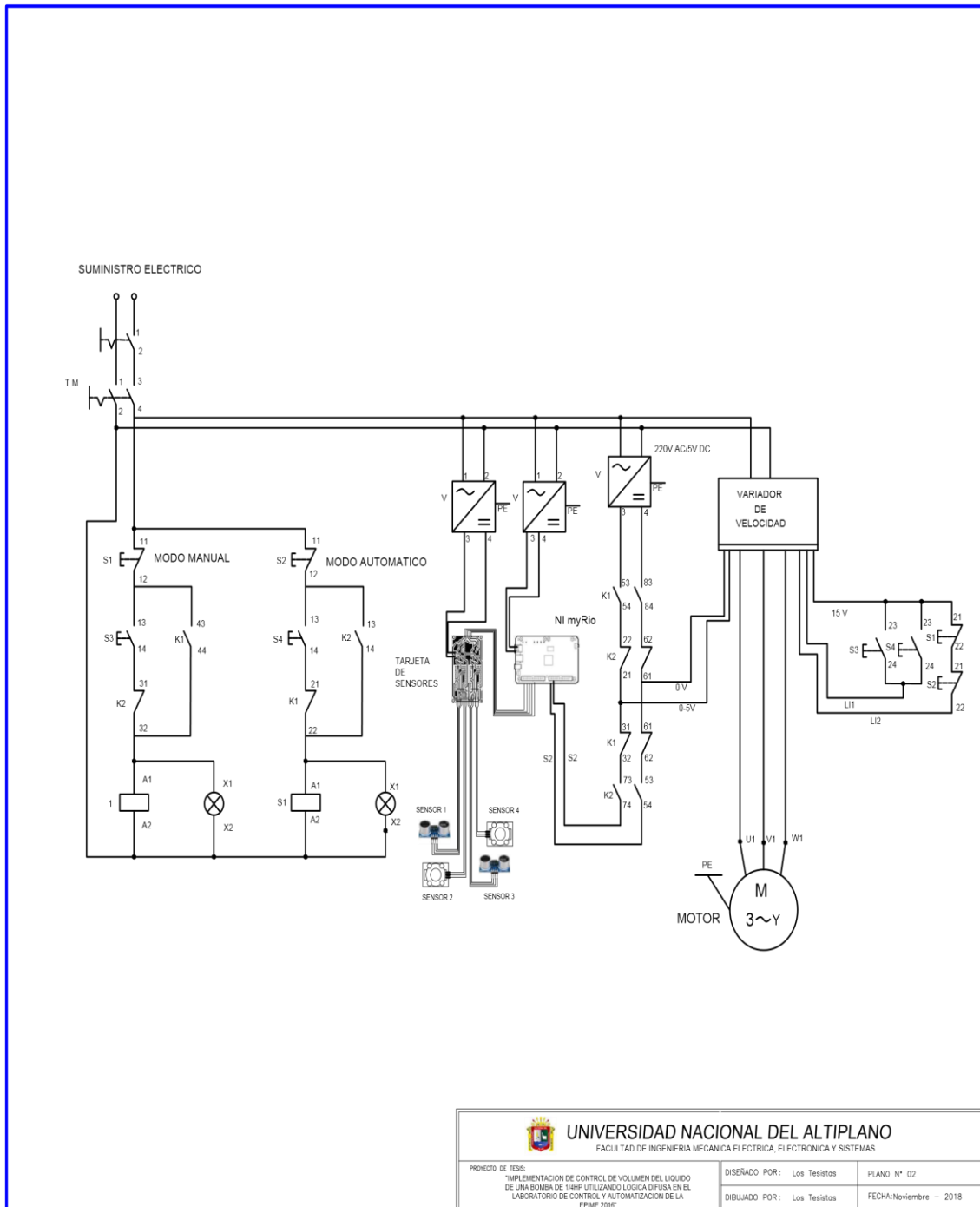
El plano de descripción de los circuitos eléctricos se aprecia en el Plano 02(**Figura 3.14**)

Figura 3.13: Descripción de la Estructura de Soporte



Elaboración: propia

Figura 3. 14: Descripción del Plano de Circuitos Eléctricos



Elaboración: propia

3.2.3. PLANO MECANICO

A continuación se muestra el Plano Mecánico del módulo de Control, especificando los elementos mecánicos utilizados en el proceso. (**Figura 3.15**)

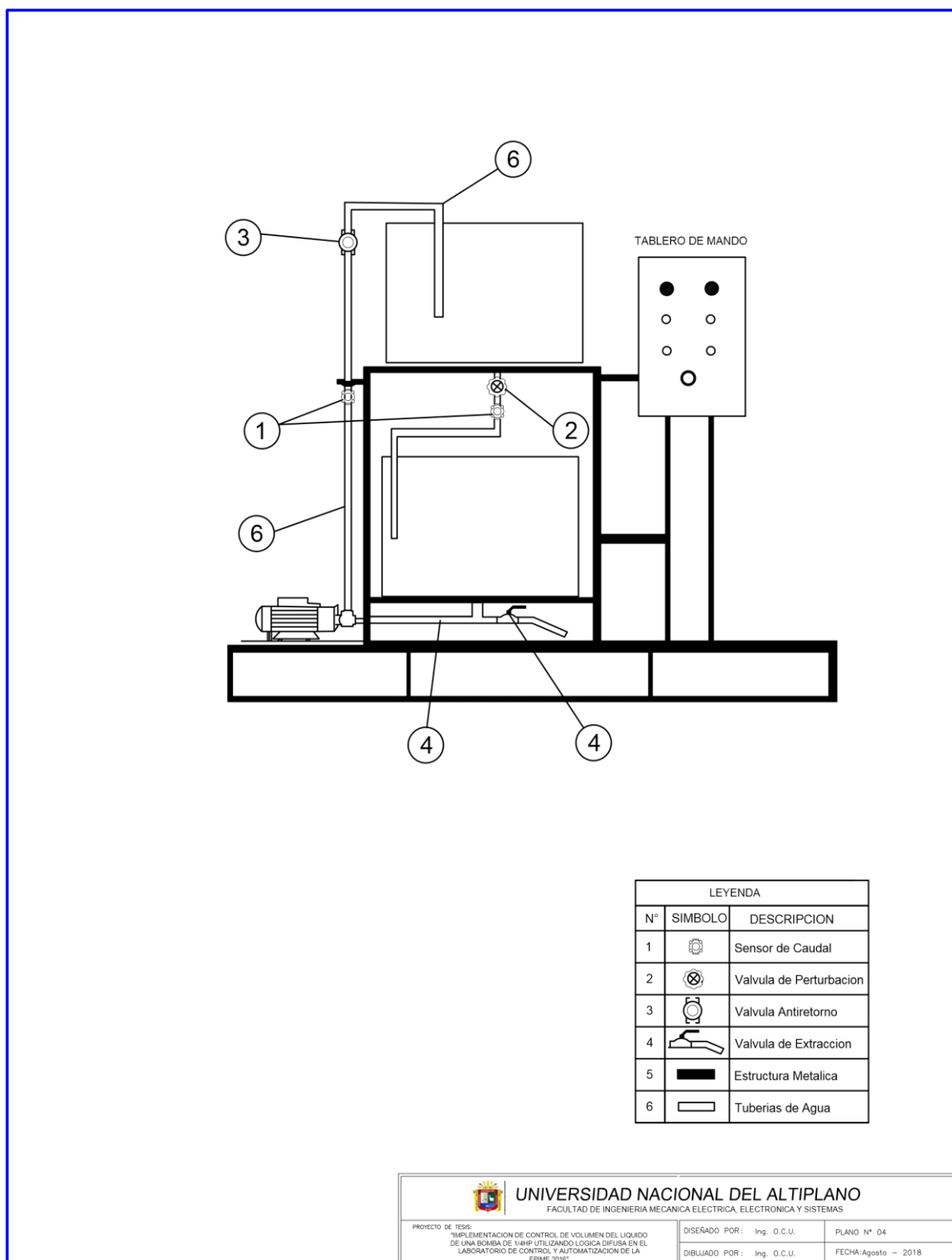
3.2.4. PLANO DE UBICACIÓN DEL EQUIPO

El equipo de encuentra en la Universidad Nacional de Altiplano – Puno, específicamente en el Laboratorio de Control y Automatización de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica

La ciudad de Puno está oscilando entre los 3810 a 4050 msnm.

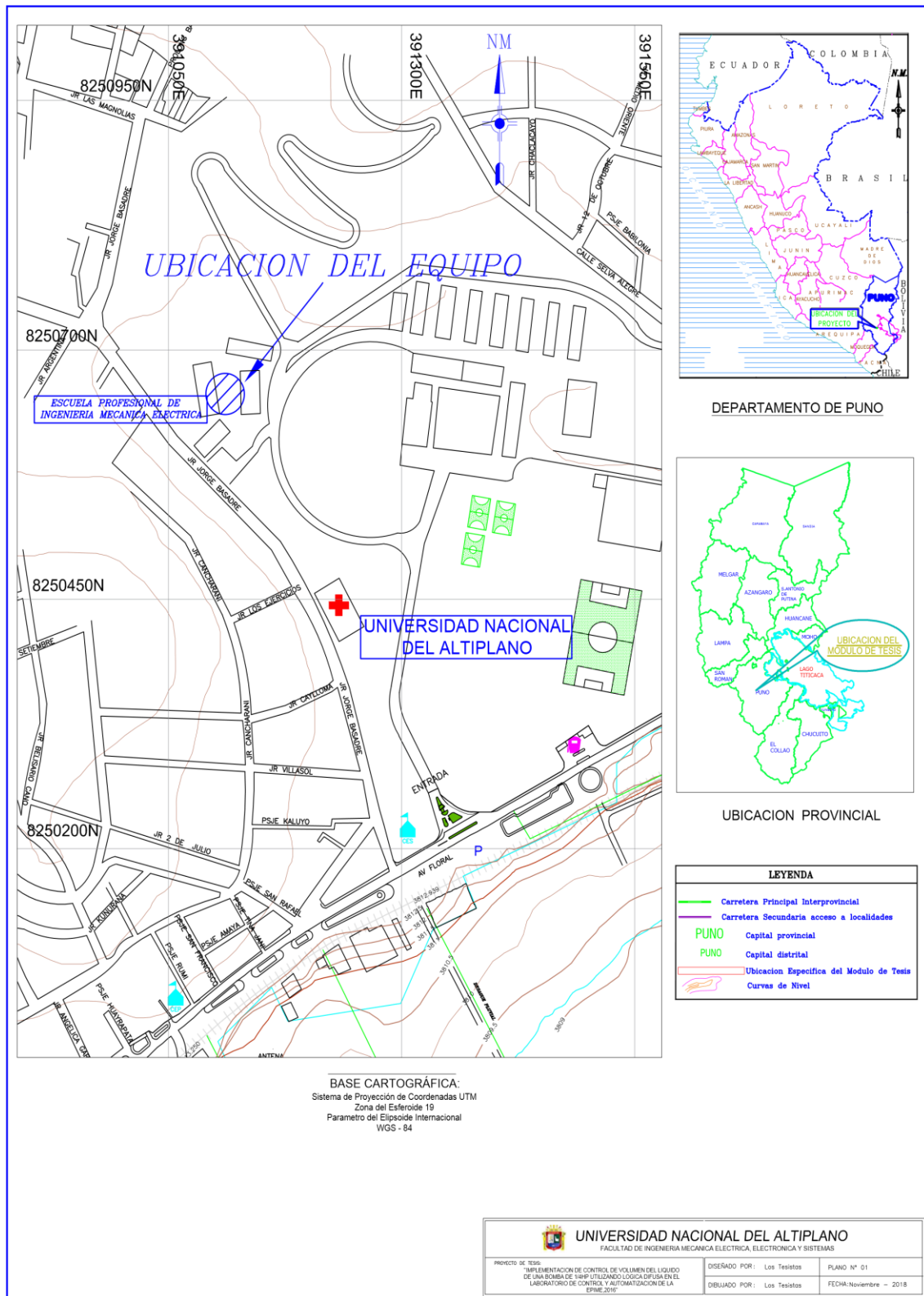
La ubicación exacta del módulo de muestra en la **Figura 3.16**.

Figura 3.15: Descripción del Plano Mecánico



Elaboración: Propia

Figura 3.16: Plano de Ubicación del Módulo de Control



Elaboración: propia

3.3. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

En el presente proyecto de tesis se usó como método principal para el control de niveles de líquidos un controlador difuso el cual fue diseñado e implementado por los autores de esta tesis, para el control difuso se necesita saber las variables de entrada y las variables de salida para luego fusificarlos y defusificarlos respectivamente.

Para la fusificación se usó el método de Mandami y la defusificación se hizo por el método de centroide o Sugeno, debido a que estos métodos son los más robustos en control difuso y se acoplan a nuestras necesidades de diseño.

3.3.1. ANÁLISIS DE CONTROLADOR DIFUSO

Para poder observar el funcionamiento de esta etapa daremos un ejemplo en el que se pueda visualizar todo el proceso de fusificación y defusificación.

Para esta etapa se usará el método de “Mandami o de mínimos” que por sus características y ventajas se acoplan mejor al controlador difuso.

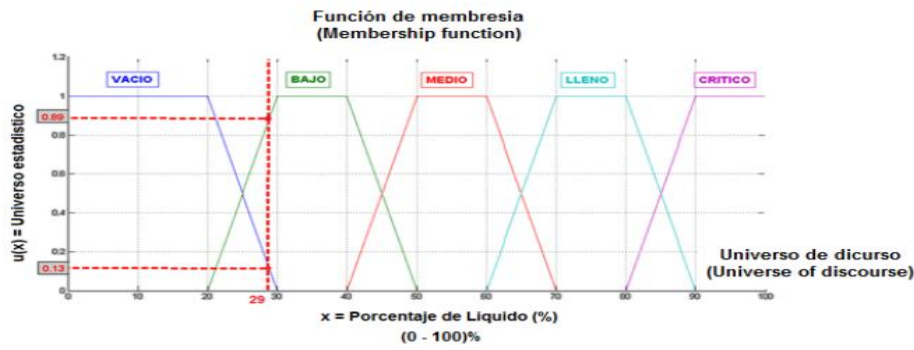
Entonces si se tiene en la entrada del controlador difuso un valor de 29% y trazamos una perpendicular al universo de discurso, se observa que esta línea corta a dos funciones de membresía que son: bajo y vacío, a estos cortes se les traza una perpendicular y se ve el grado de probabilidad que generan estos cortes (ver figura 3.17), entonces los datos obtenidos son:

$$\mu_{\text{Vacío}} (29\%) = 0.13$$

$$\mu_{\text{Bajo}} (29\%) = 0.89$$

De estos dos grados de verdad se elige a través del método de inferencia “*Mandami*” al que tiene menor probabilidad y este grado de verdad se acompaña la variable lingüística obteniendo así nuestro número difuso que sale de nuestro fusificador.

Figura 3.17: Ejemplo de fusificación



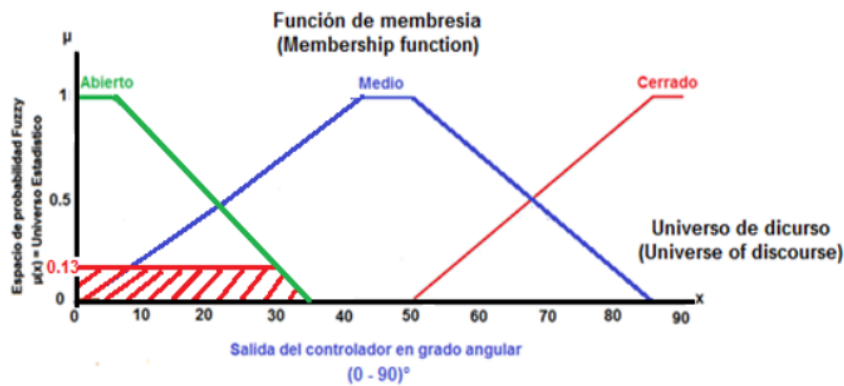
Elaboración: propia

Este dato va a nuestra base de reglas y nos da como resultado otro número difuso que debe entrar a nuestro defusificador para obtener un número “crisp”.

Si nivel = vacío ENTONCES Bomba = 5 v.

Difuso_salida_base_de_reglas= "Vacío 0.13"

Figura 3.18: Etapa de defusificación



Elaboración: propia

En la figura 43 se observa que el valor obtenido en el fusificador va a la función de membresía del defusificador. Según la base de reglas la salida es “Abierto” por lo que se le traza una recta perpendicular a 0.89 y este solo debe genera dos cortes sobre la función de membresía de “Abierto”.

Para hallar el valor “*crisp*” de salida lo que se necesita es defusificar por el método de centroide o Sugeno

3.3.2. Análisis de distancia mediante señales ultrasónicas

Para hallar el volumen del líquido que hay en el tanque prototipo hay que hallar la distancia que hay entre la tapa del tanque y el líquido, para ello se usa un sensor ultrasónico que ayudará a hallar las distancias requeridas. El sensor HC – SR04 cuenta con 4 pines los cuales van conectados directamente al micro controlador, en la figura 44 se observa los 4 pines del sensor con sus respectivos nombres.

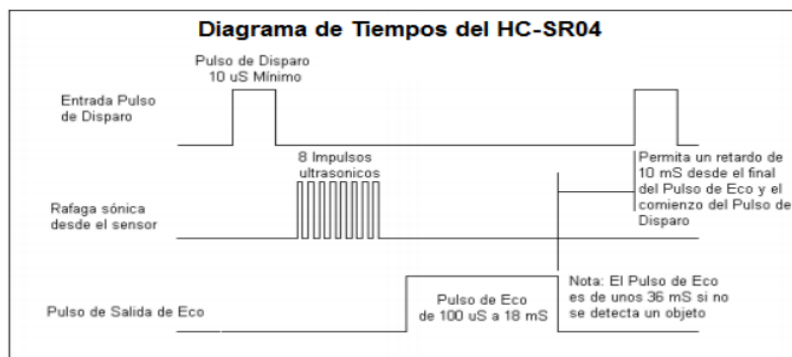
Figura 3.19: Sensor Ultrasónico



Fuente: articulo.mercadolibre.com

En la siguiente figura se muestra el diagrama de tiempo de los sensores ultrasónicos.

Figura 3.20: Diagrama de tiempo del sensor ultrasónico



Fuente: www.arduino.cc/sensor/Ultrasonic-diagrama

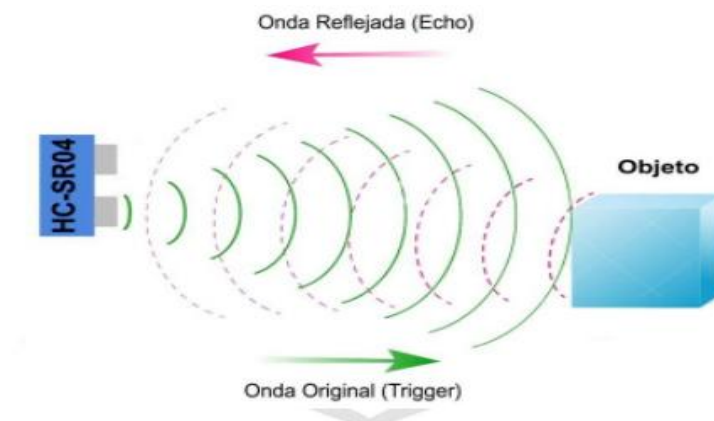
En la figura anterior se puede apreciar que solo se necesita un pulso de disparo TTL de 10useg. (Sale del pin Trigger) para enviar por el sensor 8 pulsos de 40 Khz, después del envío el puerto del pin eco queda abierto y empieza a contar el tiempo que demora la señal en ir y regresar, es necesario abrir el puerto un tiempo determinado para así garantizar la correcta adquisición del tiempo de ida y vuelta de la señal.

Con la distancia obtenida por el sensor y sabiendo algunos datos del tanque tales como: el volumen total del tanque y altura máxima del tanque, entonces se puede hallar el volumen que contiene el tanque al momento del censado.

El sensor ultrasónico funciona en agua y otros tipos de líquido, siendo este tipo de sensores lo que necesitamos para esta tesis, en la ecuación se ve cómo podemos hallar la distancia con unos simples cálculos que serán hechos por nuestro micro controlador.

$$Dist = \frac{(\text{Tiempo entre Trigger y Eco})(\text{Vel. del Sonido})\frac{340}{s}}{2} \quad (3.1)$$

A continuación, se da un ejemplo de cómo se halla la distancia entre dos objetos que se encuentran a 11 cm de separación

Figura 3.21: Funcionamiento del sensor ultrasónico

$$Dist = \frac{(646 \times 10^{-6})(340)}{2} = 10.98$$

Fuente: Serna Ruiz Antonio-Ros Garcia Francisco, Guia practica de sensores

3.4. DESARROLLO DEL DISEÑO DE CONTROLADOR DIFUSO

UTILIZANDO EL MÉTODO DE DEFUSIFICACION CENTROIDE

El tipo de investigación usada es el de aplicación, porque se caracteriza para resolver problemas, atender necesidades concretas y en función a la naturaleza del problema es del tipo creativo innovador, ya que genera nuevos conocimientos en base a la asimilación de los proyectos ya existentes.

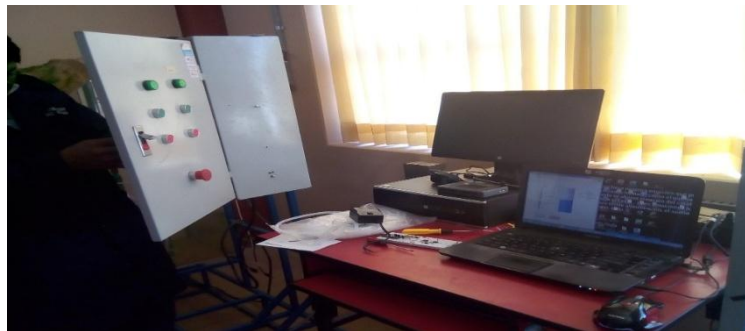
El controlador difuso a diseñar es un controlador de nivel de líquido en un tanque principal de agua, la investigación se realizó en el laboratorio de control y automatización de la EPIME.

Actualmente en fábricas modernas tales como “Siemens” (donde se diseñan este tipo de sistemas inteligentes) se observa que el control de todo el proceso de llenado de botellas es inteligente, no necesitan de operarios que lo controlen, sus sistemas se interconectan entre si y usan inteligencia artificial.

Viendo esto y sabiendo que se está próximos a la cuarta revolución industrial (Industria 4.0 - The Fourth Industrial Revolution) donde los procesos con inteligencia artificial van en aumento, se ha visto necesario implementar este tipo de controlador para estar acorde a la tecnología y a los avances mundiales.

La implementación está conformada por varios módulos electrónicos, cada uno de los cuales se encarga una tarea en específico, en primer lugar, mencionaremos al módulo arduino, el cual se encargará de recibir toda la información del sensor ultrasónico, donde el sensor ultrasónico mide la distancia del nivel de agua, en donde este actúa mediante la programación de un máximo y mínimo de nivel agua en el software LabVIEW de acuerdo a ese margen se inicia el llenado del tanque mediante la bomba.

Figura 3.22: Desarrollo del diseño del controlador difuso en el laboratorio de control y automatización de la EPIME



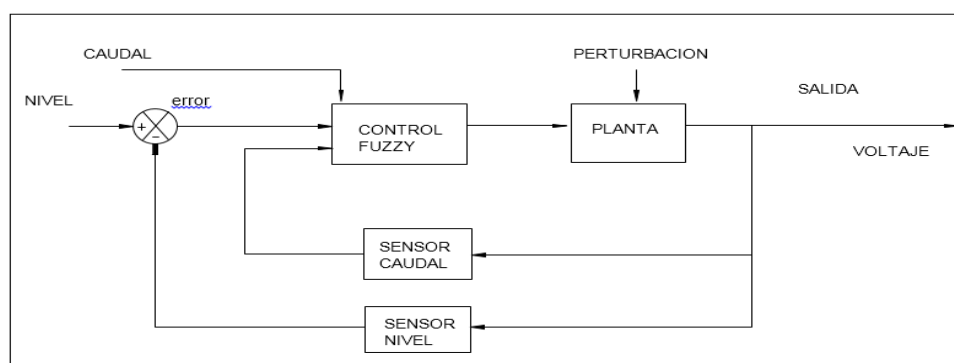
Elaboración: propia

El sensor ultrasónico nos ayudará en la captura de distancias que hay entre el líquido y el sensor, estas mediciones irán a un controlador difuso diseñado por los autores de la presente tesis.

Entonces el controlador difuso debe controlar el nivel de líquido en el tanque principal para lograr la estabilización según el set point programado.

En la figura se observa el diagrama de bloques diseñado e implementado para el presente proyecto de tesis

Figura 3.23: Diagrama de bloques General del proyecto desarrollado de forma experimental



Elaboración: Propia

3.4.1. ENTRADA Y SALIDA DEL CONTROLADOR DIFUSO

Inicialmente tenemos que tener presente cuáles serán las entradas y salidas que definirán los datos que entraran al controlador difuso y cuáles serán los datos que saldrán del controlador

Teniendo en cuenta los dicho anteriormente, se desea tener un controlador que se pueda acoplar a las dimensiones del tanque principal, por lo que se decidió convertir la distancia capturada por el micro controlador en nivel de líquido expresado en centímetros (cm) en el tanque, esto quiere decir que mi variable de entrada es el nivel de líquido expresado en cm.

En el módulo diseñado se usa una bomba de agua convencional, la cual se encargará de lograr el llenado del tanque principal al nivel requerido y establecido por el set point.

Entonces la salida tiene que ser un sistema que nos permita controlar el encendido y frecuencia del motor, en este caso regulada por un variador de velocidad, entonces nuestra salida del controlador difuso será en un rango de 0 a 5 voltios

Entrada = Nivel de Líquido en cm (0-35cm.)

Salida= Voltaje (0 a 5 V.)

Como se sabe cuáles van a ser la entrada y salida ahora hay que dar rangos a cada variable, para este caso la variable de entrada va de 0 – 35cm. y la variable de salida va de 0 – 5 v.

- La decisión del rango de la variable de entrada es porque el tanque tendrá un nivel máximo de llenado de líquido a 35 cm, esto teniendo en cuenta las dimensiones de dicho tanque y la seguridad del modulo
- El rango de la variable de salida va de 0 a 5 v. debido a que la bomba funcionara a plena carga con 60 Hz de frecuencia y dejara de funcionar regulando poco a poco cuando el tanque principal este con un nivel de líquido máximo permisible. Tomando en cuenta el nivel de líquido que hay en el tanque principal, mientras más cerca este el nivel de líquido al set point menor será el grado de voltaje en la bomba de agua, así el control será mucho mejor.

3.4.2. FUNCION DE TRANSFERENCIA Y VARIABLES LINGUISTICAS

Para las funciones de pertenencia se tiene distintos tipos de forma tales como triangulares, trapezoidales, gaussianas, etc. En este caso se usará funciones tipos trapezoidales y triangulares ya que maneja un amplio rango de parámetros.

Ahora que se tienen definidas las funciones de membresía (membership function), se necesita darle a cada función un nombre o variable lingüística que permita saber el manejo de los niveles de líquido en el tanque, estas variables son dadas basadas en pruebas del módulo en modo manual, tomando los tiempos de estabilidad del sistema, tomando los

datos de los sensores de caudal, los datos de los sensores ultrasónicos y pruebas desarrolladas a diferentes tipos de nivel de agua.

Las variables lingüísticas escogidas para el presente proyecto de tesis son:

Variabes de Entrada para el Nivel de Agua

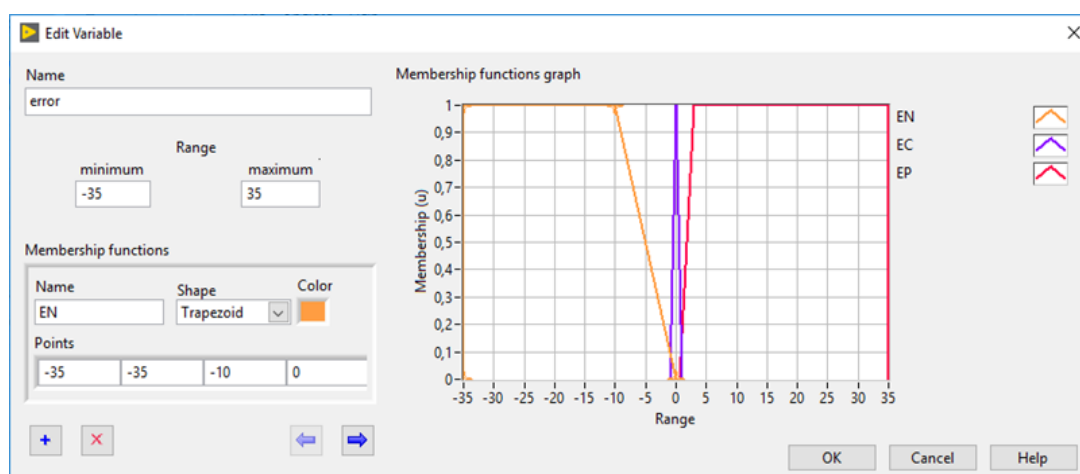
EN	Error Negativo
EC	Error Cero
EP	Error Positivo

Variabes de Entrada para el Caudal de Retroalimentación

Q.MB	Caudal Muy Bajo
Q.B	Caudal Bajo
Q.A	Caudal Alto
Q.MA	Caudal Muy Alto
Q.SA	Caudal Super Alto

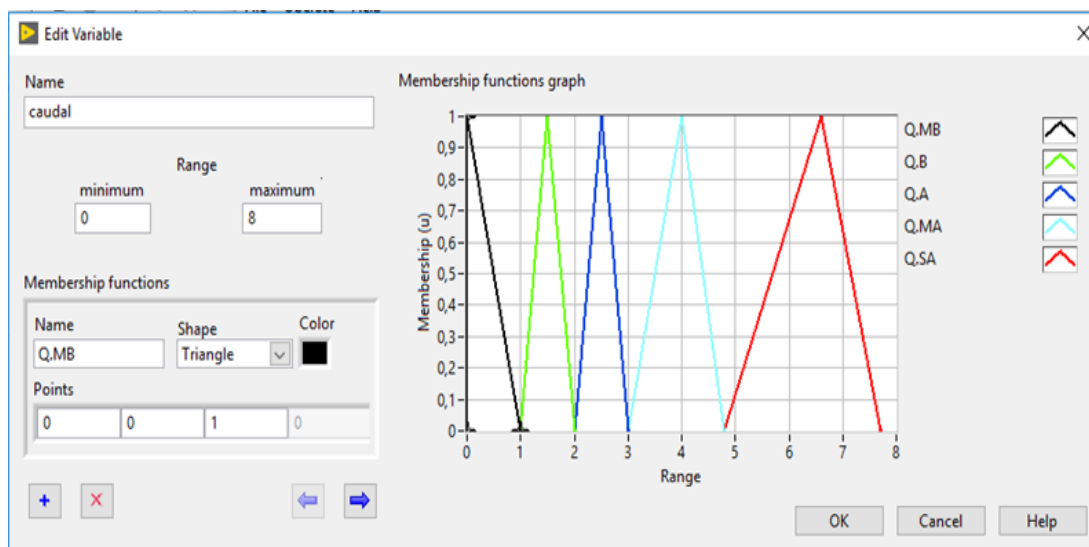
Dichas variables se seleccionaron tomando en cuenta el error obtenido según el controlador difuso

Figura 3.24: Funciones de Membresía y variables lingüísticas de entrada - Error



Elaboración: propia

Figura 3.25: Funciones de Membresía y variables lingüísticas de entrada - Caudal



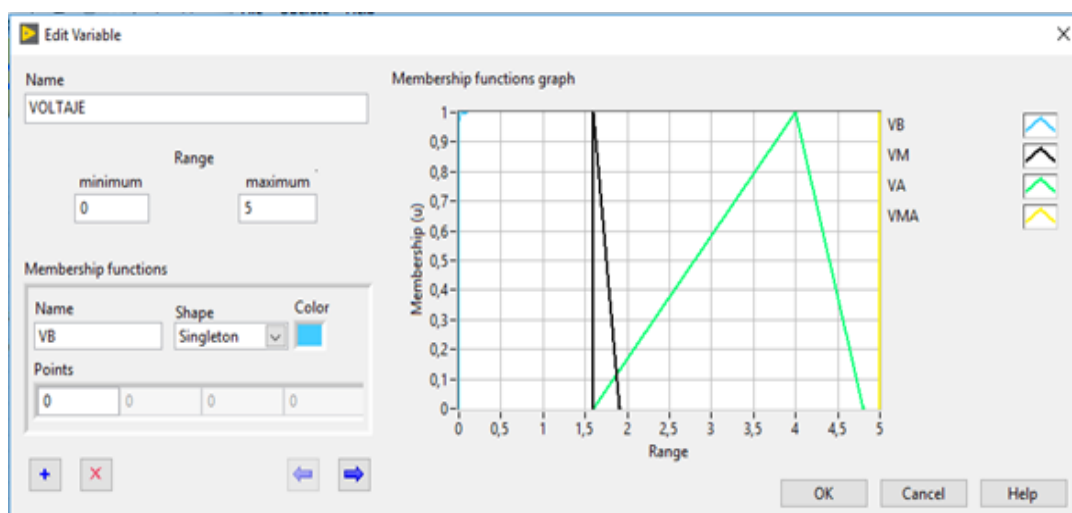
Elaboración: propia

Ahora que se tienen definidas las funciones de membresía en la entrada, procederemos a hacer lo mismo para las variables de salida, se optó por la función de membresía triangular y singleton, esto porque no se desea que la bomba se encienda o apague de manera intempestiva y al contrario lo haga de manera gradual.

Se decidió solo usar cuatro funciones de membresía con sus respectivas cuatro variables lingüísticas que son:

VB	Voltaje Bajo
VM	Voltaje Medio
VA	Voltaje Alto
VMA	Voltaje Muy Alto

Figura 3.26: Funciones de Membresía y variables lingüísticas de salida



Elaboración: propia

3.4.3. BASE DE REGLAS

Ahora que ya se definieron las funciones de pertenencia y las variables lingüísticas, procederemos a crear la base de reglas.

Para este controlador difuso se generó 15 reglas que van acuerdo al tiempo de estabilidad del sistema y los datos tomados en pruebas anteriores los cuales lograran un controlador más preciso. En este caso se tomó la decisión de crear las reglas difusas del tipo Mandami que son del tipo “Si – Entonces”.

Tabla 3.7: Reglas Difusas

N° de Regla	VARIABLE DE ENTRADA		VARIABLE DE ENTRADA	TIPO DE REGLA	VARIABLE DE SALIDA
1	Si Error = Negativo	Y	Caudal = Muy Bajo	ENTONCES	Voltaje = Bajo
2	Si Error = Negativo	Y	Caudal = Bajo	ENTONCES	Voltaje = Bajo
3	Si Error = Negativo	Y	Caudal = Alto	ENTONCES	Voltaje = Bajo
4	Si Error = Negativo	Y	Caudal = Muy Alto	ENTONCES	Voltaje = Bajo
5	Si Error = Negativo	Y	Caudal = Super Alto	ENTONCES	Voltaje = Bajo
6	Si Error = Cero	Y	Caudal = Muy Bajo	ENTONCES	Voltaje = Bajo
7	Si Error = Cero	Y	Caudal = Bajo	ENTONCES	Voltaje = Bajo
8	Si Error = Cero	Y	Caudal = Alto	ENTONCES	Voltaje = Muy Alto
9	Si Error = Cero	Y	Caudal = Muy Alto	ENTONCES	Voltaje = Medio
10	Si Error = Cero	Y	Caudal = Super Alto	ENTONCES	Voltaje = Medio
11	Si Error = Positivo	Y	Caudal = Muy Bajo	ENTONCES	Voltaje = Muy Alto
12	Si Error = Positivo	Y	Caudal = Bajo	ENTONCES	Voltaje = Muy Alto
13	Si Error = Positivo	Y	Caudal = Alto	ENTONCES	Voltaje = Medio
14	Si Error = Positivo	Y	Caudal = Muy Alto	ENTONCES	Voltaje = Muy Alto
15	Si Error = Positivo	Y	Caudal = Super Alto	ENTONCES	Voltaje = Muy Alto

Elaboración: Propia

Ahora que se tiene la base de reglas, estas serán insertadas en el scada del sistema para poder observar cómo funciona el controlador

Estas reglas se basan en lo experimentado en el laboratorio de control y automatización de la EPIME, logrado a través de pruebas que el controlador mejore los niveles de estabilidad de control de procesos.

3.4.4. FUSIFICACION

En la etapa de fusificación los valores “crips” son ubicados en el universo de discurso y estos otorgan el grado de pertenecía a cada conjunto, en este caso con una variable “crips”, este puede tener dos grados de pertenecía.

La variable “crips” que ingresa al controlador difuso es trasformada a funciones de pertenencia o grado de verdad de la función de membresía, estos grados de pertenecía

deben ser convertidos a un número difuso a través del método de inferencia de tipo “Mandani”. Se logra obtener el número difuso de nuestra etapa de fusificación para luego ir a nuestra base de reglas

3.4.5. DEFUSIFICACION

La salida del fusificador es un número difuso, este entra a la base de reglas y sale otro número difuso, el cual debe ser convertido a un valor “*crisp*” o valor entero que pueda ser enviado al micro controlador y este a su vez ejecute la orden de enviar gradualmente una tensión que varié de 0 a 5 voltios..

Entonces en la etapa de fusificación lo que se hace es convertir ese número difuso a un valor entero que pueda reconocer el micro controlador. Existen varios métodos de defusificación que están descritos anteriormente, pero el que se usa para este prototipo es el de “Sugeno o Centroide”, el cual es un método muy robusto y se ajusta al presente proyecto.

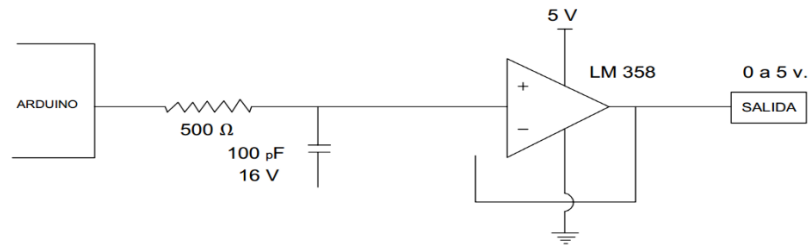
3.4.6. TRATAMIENTO DE LAS SEÑALES EMITIDAS POR LOS SENSORES

Para el funcionamiento del módulo de control a través de la lógica difusa y NI myRio 1900, será necesario el ingreso de señales analógicas.

Tanto los sensores ultrasónicos como los sensores de caudal recopilan señales en modulación por ancho de pulso, pero el NI myRio trabaja con señales analógicas, por lo cual será necesario la transformación de dichas señales a través de esta pequeña placa diseñada para este fin.

Para la obtención de las señales deseadas realizamos la corrección de modulación por ancho de pulso a una señal analógica pura de 0 a 5 voltios a través de cálculos descritos a continuación:

Figura 3.27: Elaboración del tratamiento de señales



Elaboración: propia

DESARROLLANDO LOS CALCULOS

$$f_{pwm} = \frac{ChA}{N*256} \tag{3.2}$$

$$f_{pwm} = \frac{16x10^6 Hz}{N * 256} = 62500 Hz$$

DONDE: $f_{pwm} = 20 * f_c \tag{3.3}$

$$\rightarrow f_c = \frac{f_{pwm}}{20} = \frac{62500}{20} = 3125 Hz$$

COMO: $f_c = \frac{1}{2*\pi*R*C} \tag{3.4}$

$$C = 100_pF \tag{3.5}$$

$$\rightarrow R = \frac{1}{2*\pi*3125*100x10^{-9}} = 509.2958 \Omega$$

f_{pwm} : Frecuencia de modulación por ancho de pulso

f_c : Frecuencia de Corte

N : Numero de ciclos

R : Resistencia

3.4.7. APLICACIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO EN PROCESOS INDUSTRIALES

En este caso aplicaremos el sistema de control difuso para el apoyo a la pequeña y mediana industria de envasado y embotellado de bebidas de tal manera que se pueda controlar, calibrar y monitorear sus niveles de tanques en el momento de llenado y vaciado generando una ayuda al operario o usuario posibilitando la visualización de todo el proceso.

Esto se basa en la observación de las pequeñas y medianas industrias de venta de agua, que en la actualidad tienen sistema de llenado y vaciado de líquido obsoleto, en algunos casos estos procedimientos se hacen de forma manual. Por lo que es necesario usar nuevas tecnologías en estos procesos, para lo cual se puede usar la lógica difusa.

Actualmente en fábricas modernas tales como “Siemens” (donde se diseñan este tipo de sistemas inteligentes) se observa que el control de todo el proceso de llenado de botellas es inteligente, no necesitan de operarios que lo controlen, sus sistemas se interconectan entre si y usan inteligencia artificial.

Viendo esto y sabiendo que se está próximos a la cuarta revolución industrial (Industrie 4.0 - The Fourth Industrial Revolution) donde los procesos con inteligencia artificial van en aumento, se ha visto necesario implementar este tipo de controlador para estar acorde a la tecnología y a los avances mundiales.

En la tabla 7 se observa la actual producción de garrafones de agua en distintos tamaños de empresas, en la presente tesis nos enfocaremos en la micro empresa artesanal, debido a que este tipo de empresas necesitan reducir sus costos de fabricación y aumentar su producción.

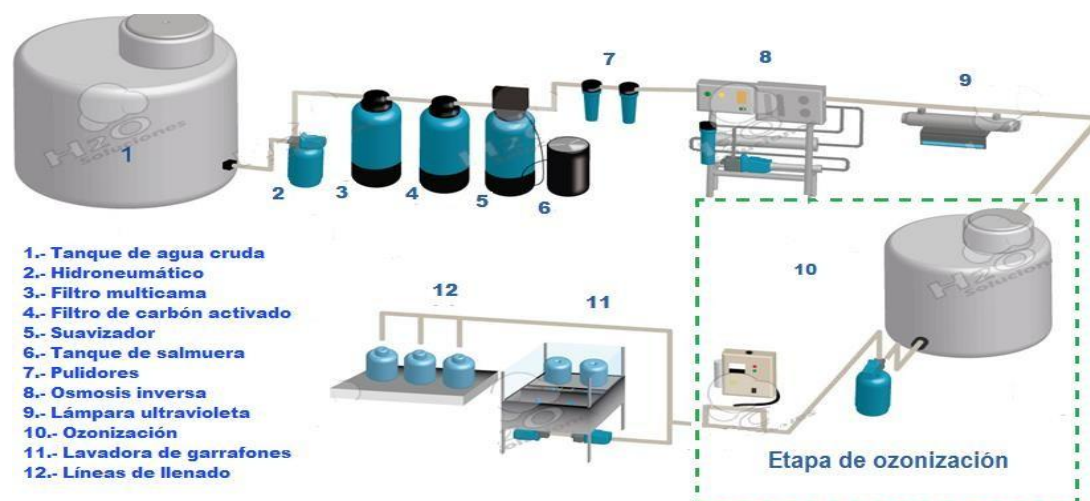
Tabla 3.8: Proceso productivo de fábricas embotelladoras de garrafones de agua

Escala (rango de producción)	
Microempresa/artesanal	Hasta 10,000 garrafones mensuales
Pequeña empresa	De 10,000 a 90,000 garrafones mensuales
Mediana empresa	De 90,000 a 150,000 garrafones mensuales
Gran empresa	Más de 150,000 garrafones mensuales

Fuente: Tesis/USMP/Escuela-Profesional-Ing Electrónica Lima-Peru-2016

En este caso se ha seleccionado una etapa específica de todo proceso productivo de ozonización.

Figura 3.28: Etapas del proceso de embotellamiento de garrafones de agua



Fuente: Tesis/USMP/Escuela-Profesional-Ing Electrónica Lima-Peru-2016

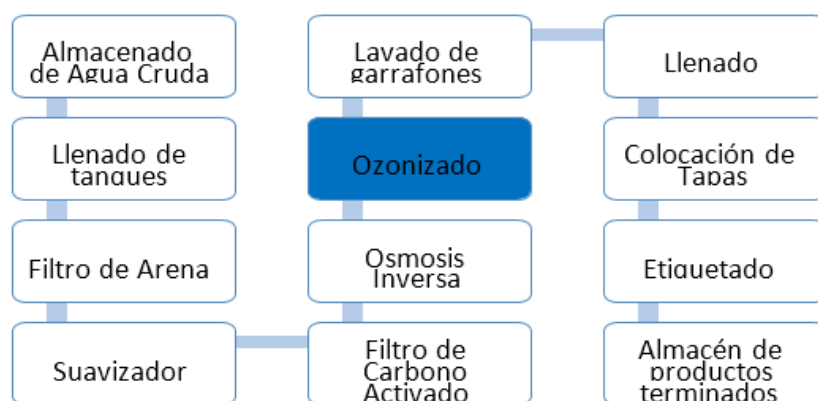
Después de ozonizar el líquido, este ya está apto para el consumo humano, pero antes de ozonizar el agua, esta debe de estar en un tanque que siempre tenga suministro suficiente para seguir con el proceso.

En este tipo de tanques se observa que el control de líquido se hace con un sistema de boya, siendo este un sistema obsoleto además de tener contacto físico con el agua, para la presente tesis se propone usar un sensor ultrasónico que cumple la misma función del sistema de boya que es tener el suministro suficiente para el proceso de ozonizado.

El sensor ultrasónico nos ayudará en la captura de distancias que hay entre el líquido y el sensor, estas mediciones irán a un controlador difuso diseñado por los autores de la presente tesis.

Entonces el controlador difuso debe controlar que el tanque siempre tenga suministro suficiente de agua para la etapa del ozonizado, por lo que el controlador difuso simulara a un operario que cierre o habrá una electroválvula para así poder dejar pasar o restringir el líquido.

Figura 3.29: Diagrama de bloques de la fábrica embotelladora

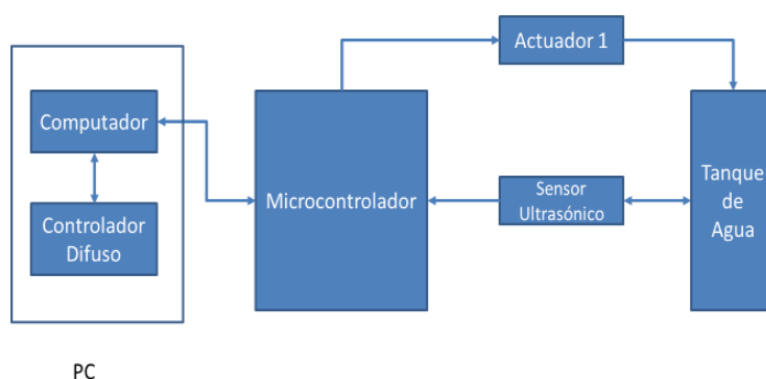


Fuente: Tesis/USMP/Escuela-Profesional-Ing Electrónica Lima-Peru-2016

En la figura 54 se observa el diagrama de bloques de una empresa embotelladora de garrafones de agua, la presente tesis se enfoca en la etapa de ozonizado, específicamente en el tanque que esta antes de inyectar el ozono al agua para que esta sea totalmente potable y así continuar con su línea de producción.

En la figura 3.30 se observa el diagrama de bloques para comunicar nuestro controlador difuso con el sensor y la servo válvula.

Figura 3.30: Diagrama de bloques de comunicación entre el controlador difuso, el sensor y el actuador



Fuente: Tesis/USMP/Escuela-Profesional-Ing Electrónica Lima-Peru-2016

Ahora bien ya se ha visto en qué etapa va estar el controlador difuso y que plan de trabajo se va a realizar.

Se observa que con la implementación un controlador difuso en los procesos de llenado y vaciado de líquidos, estos son más rápidos, generan menos costo de producción por no tener un operario que este constantemente revisando niveles de líquido y es acoplable a cualquier tipo de tanque que no sobrepase las especificaciones del controlador.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DISEÑO E IMPLEMENTACION DEL PROYECTO

En el módulo diseñado para la implementación del controlador difuso, se realizaron 3 ensayos experimentales, esto con objetivo de verificar que los resultados que se obtuvieron en estos ensayos sean más precisos y así demuestren las ventajas y beneficios del controlador difuso.

La implementación está conformada por varios módulos electrónicos, cada uno de los cuales se encarga una tarea en específico, en primer lugar, mencionaremos al módulo arduino, el cual se encargará de recibir toda la información del sensor ultrasónico, donde el sensor ultrasónico mide la distancia del nivel de agua, en donde este actúa mediante la programación de un máximo y mínimo de nivel agua en el software LabVIEW de acuerdo a ese margen se inicia el llenado del tanque mediante el motor.

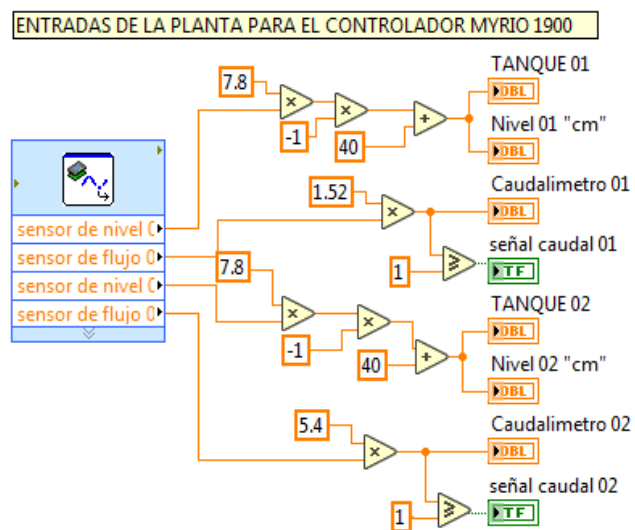
4.2. PROGRAMACION EN LABVIEW 2017

LabVIEW posee extensas librerías de funciones y subrutinas. Además de las funciones básicas de todo lenguaje de programación, LabVIEW incluye librerías específicas para la adquisición de datos, control de instrumentación VXI, GPIB y comunicación serie, análisis presentación y guardado de datos.

A continuación, tenemos partes a detalle de la programación:

- 1) Tratamiento de señales de los sensores para la salida de 0 a 5 v, realizando los ajustes dependiendo de las características de la planta, donde finalmente se darán los rangos de operación.

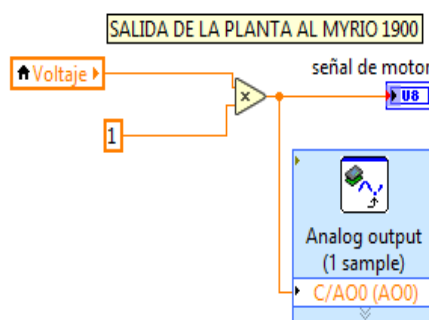
Figura 4.1: Diseño del Scada para el Control difuso N°01



Elaboración: propia

- 2) Direccionamiento y comunicación para las salidas del variador de velocidad al motor

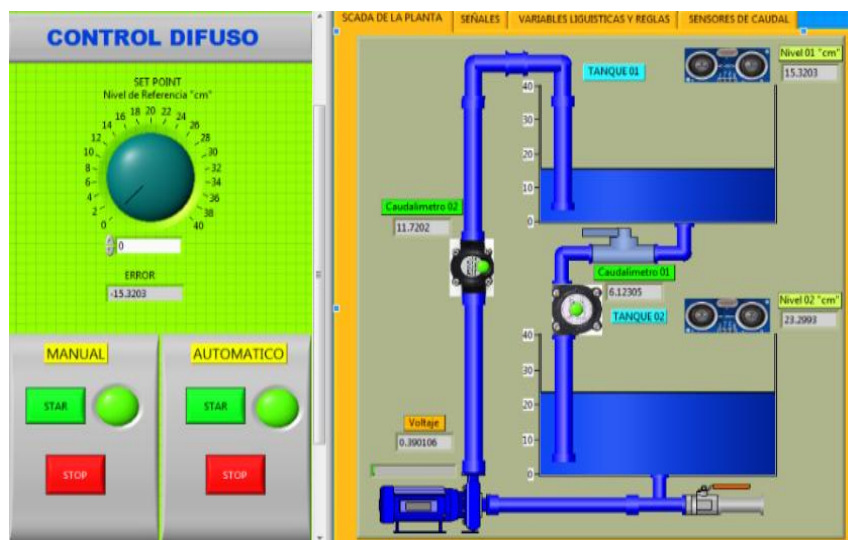
Figura 4.2: Diseño del Scada para el Control difuso N°02



Elaboración: propia

- 3) Diseño del scada, realizando las configuraciones para la visualización de la planta en tiempo real.

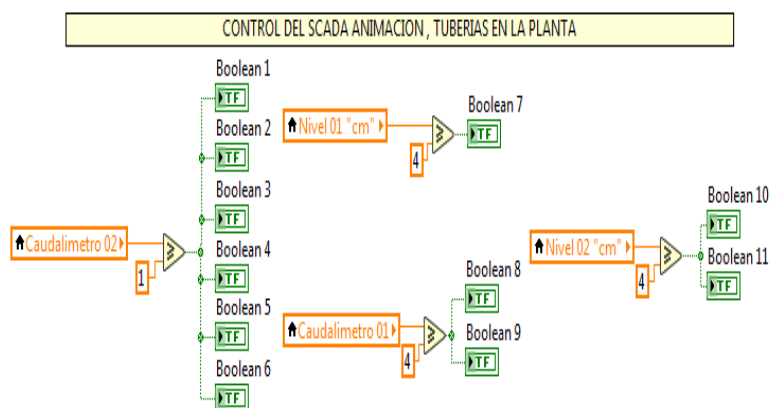
Figura 4.3: Diseño del Scada para el Control difuso N°03



Elaboración: propia

- 4) Diseño de programa del scada, para la visualización animada de las tuberías y el proceso que se realiza en la planta

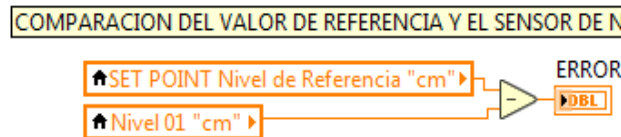
Figura 4.4: Diseño del Scada para el Control difuso N°04



Elaboración: propia

- 5) Tratamiento de señal para el controlador, para la regulación del set point y las señales de los sensores en cm

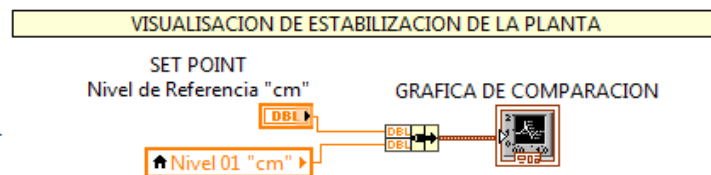
Figura 4.5: Diseño del Scada para el Control difuso N°05



Elaboración: propia

- 6) Visualisacion del tiempo de estabilidad del control de nivel

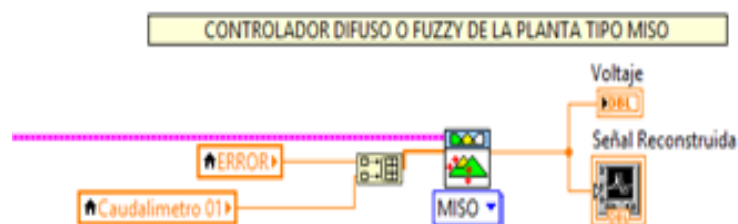
Figura 4.6: Diseño del Scada para el Control difuso N°06



Elaboración: propia

- 7) Diseño del control difuso, donde el controlador difuso recepciona las variables lingüísticas de entrada y salida, para luego reconstruir las señales obteniendo la señal deseada (0 a 5v)

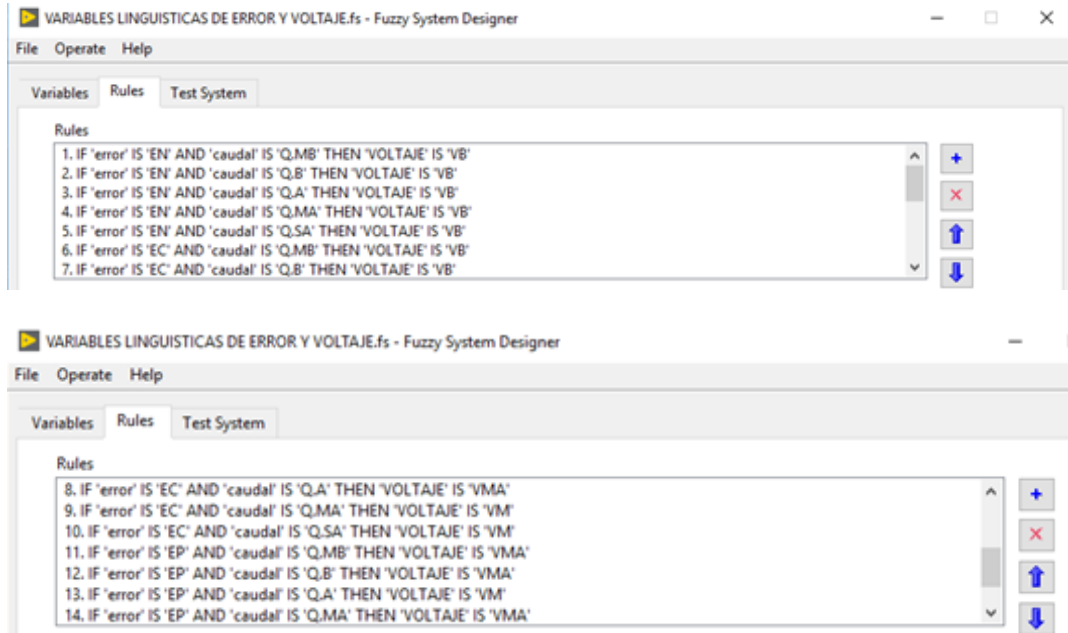
Figura 4.7: Diseño del Scada para el Control difuso N°07



Elaboración: propia

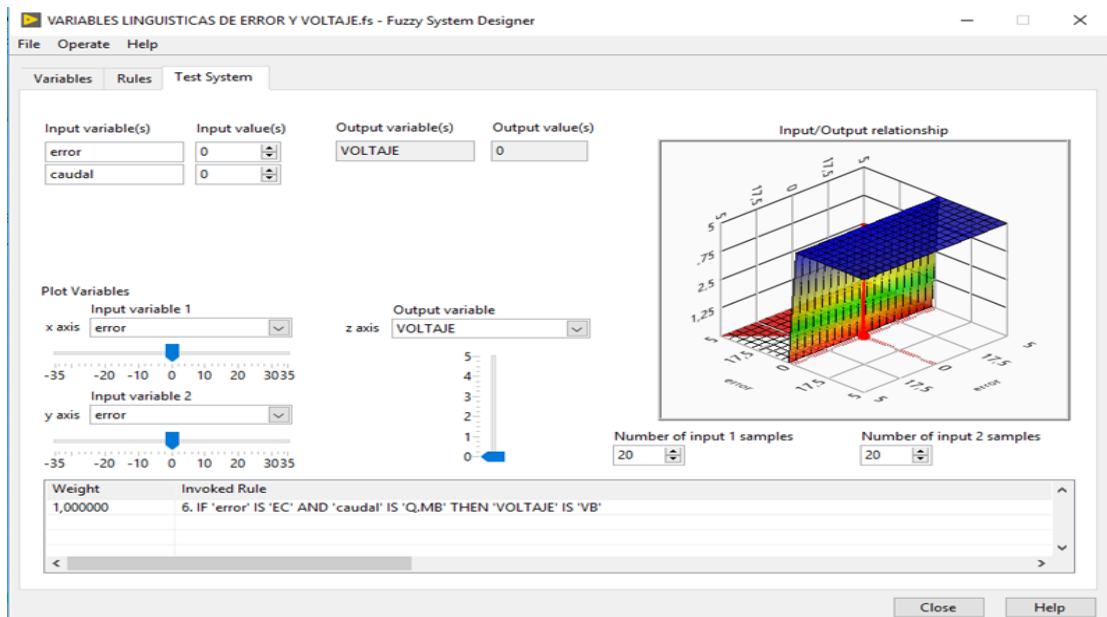
8) Diseño de las reglas de control tomando en cuenta las variables de entrada y salida.

Figura 4.8: Diseño del Scada para el Control difuso N°08



Elaboración: propia

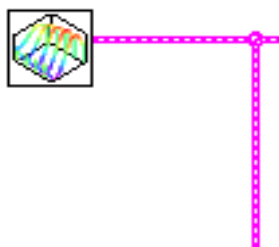
Figura 4.9: Diseño del Scada para el Control difuso N°08-2



Elaboración: propia

9) Diseño de sub programa de reglas y variables lingüísticas

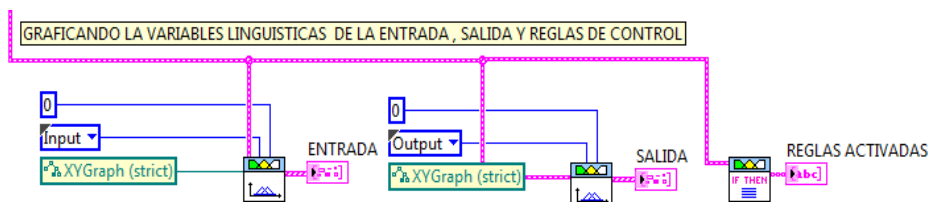
Figura 4.10: Diseño del Scada para el Control difuso N°09



Elaboración: propia

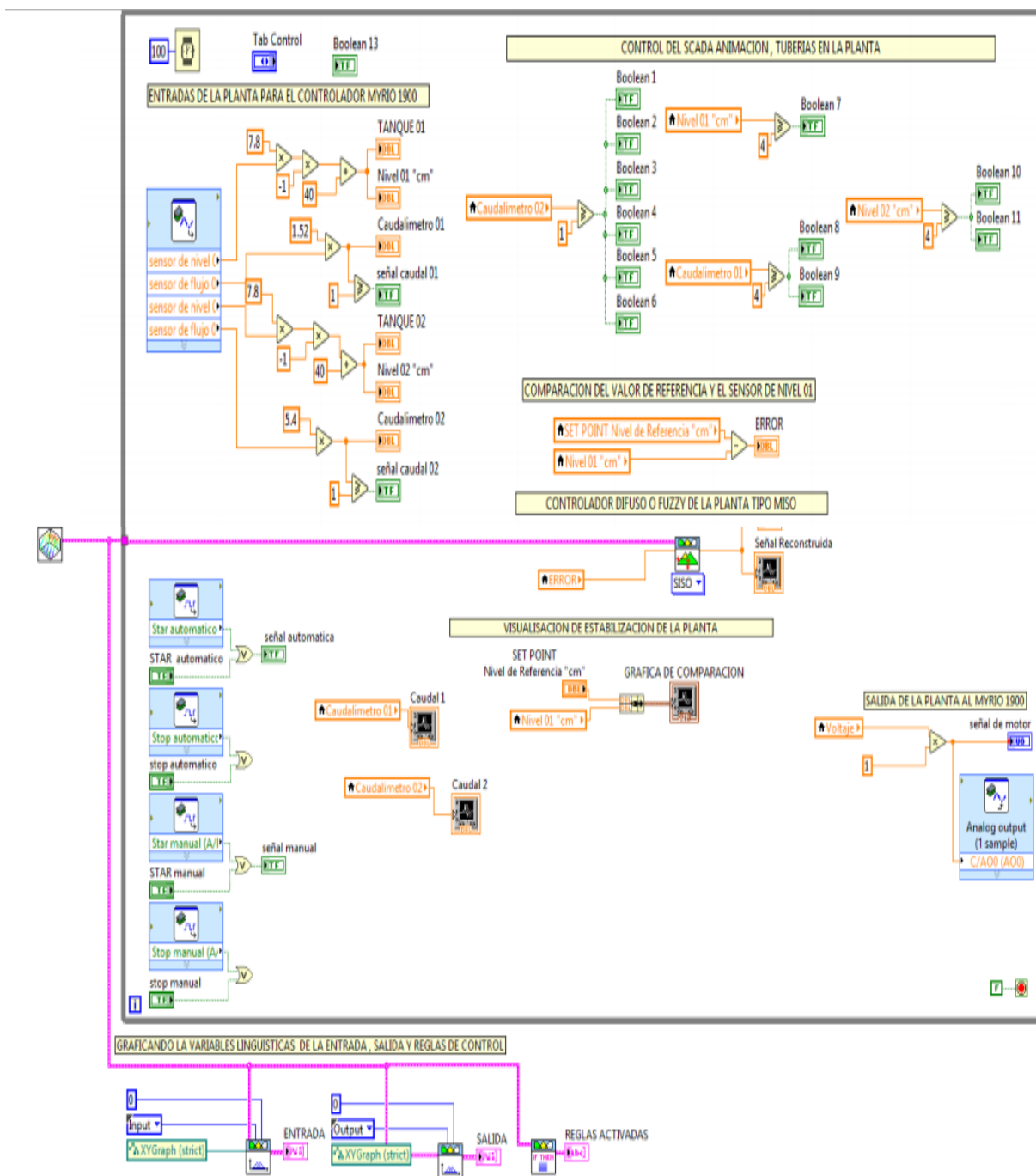
10) Visualización de las variables lingüísticas y reglas de control, tanto de entrada como de salida

Figura 4.11: Diseño del Scada para el Control difuso N°10



Elaboración: propia

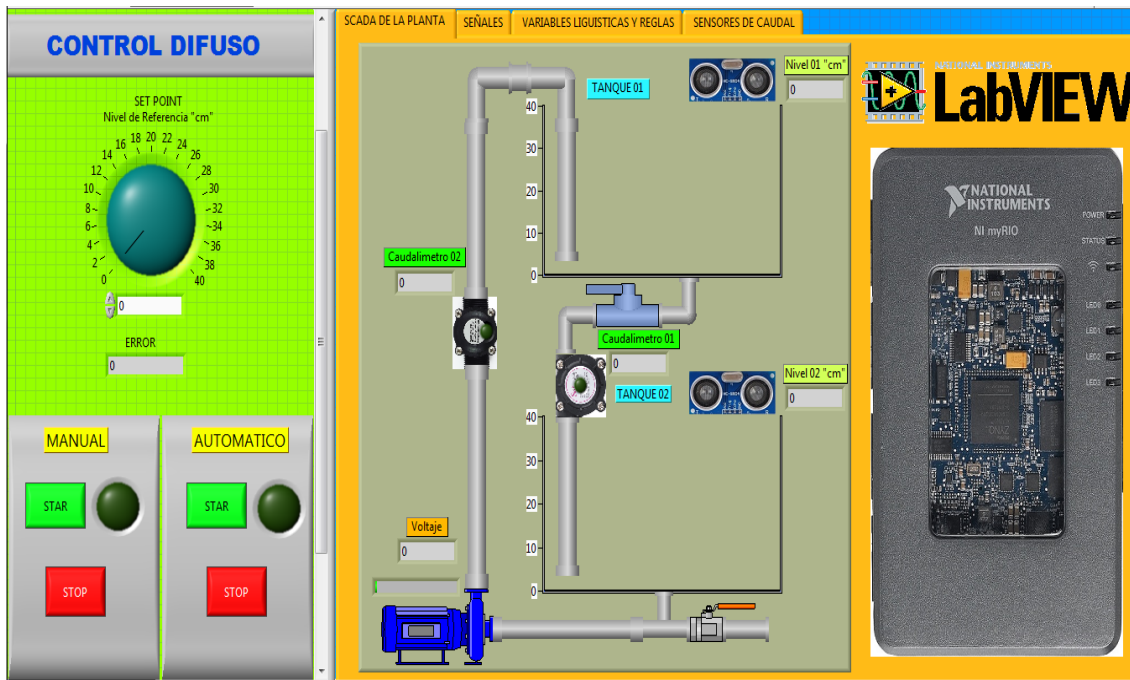
Figura 4.12: Scada de nivel de control de líquido general



Elaboración: propia

A continuación de muestra el entorno grafico que se le mostrara a los observadores para que se visualice e proceso de llenado del tanque principal y el control difuso.

Figura 4.13: Diseño final del entorno del operador



Elaboración: propia

4.3. ANALISIS DE DATOS DE LAS PRUEBAS REALIZADAS

Para realizar las pruebas hemos insertado al tanque de principal tres variaciones de nivel de agua para realizar la recepción de los datos al computador.

Para poder registrar todas las acciones realizadas por el controlador difuso se deberá de tener consideración los siguientes detalles:

4.3.1. DESCRIPCION

Se genera un documento Excel donde se muestra segundo a segundo como avanza el proceso de llenado en sus parámetros de nivel de agua (cm), caudal y tiempo de estabilidad.

4.3.2. CONDICIONES NESESARIAS

- El operario debe realizar el conexionado de manera correcta (fuentes, sensores, controlador)
- Sensor en óptimas condiciones sin ruido o inferencias
- Se designa un nivel de agua (set point) con el cual se deberá controlar la planta

4.3.3. RESULTADOS

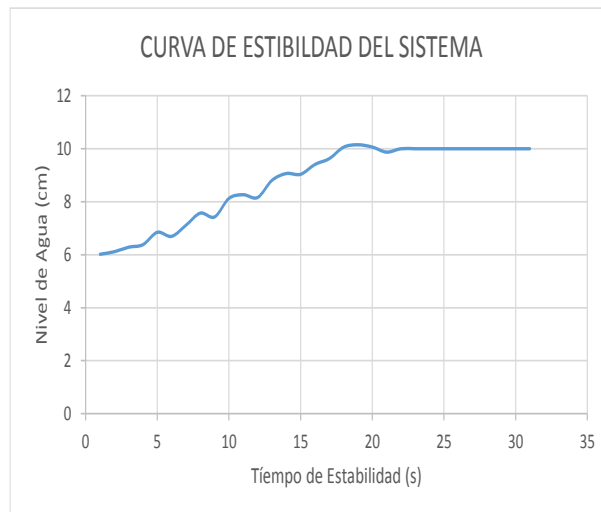
Se visualiza el entorno grafico mostrando una tabla del llenado del tanque y la curva de estabilización del sistema, esto desarrollado a tres diferentes datos programados para el set point.

- **Primer resultado:** Set Point 10 cm:

Tabla 4.1: Prueba N° 01

TIEMPO (s)	NIVEL DE AGUA SET POINT (cm)	NIVEL DE AGUA TANQUE 01 (cm)	CAUDAL L/min
1	10	6.01783	26.6506
2	10	6.11304	26.6309
3	10	6.28443	26.6374
4	10	6.37964	26.7561
5	10	6.84619	26.8022
6	10	6.69385	26.6902
7	10	7.1128	26.6111
8	10	7.56983	26.0178
9	10	7.42701	25.5828
10	10	8.42676	23.4272
11	10	8.2649	22.5176
12	10	8.16016	21.7991
13	10	8.80762	21.5288
14	10	9.0647	21.5815
15	10	9.03614	21.5552
16	10	9.40747	21.542
17	10	9.62647	21.5947
18	10	10.1597	21.8057
19	10	10.1501	21.5222
20	10	10.2644	20.283
21	10	10.2739	19.345
22	10	10.093	17.923
23	10	10.012	13.239
24	10	10.008	9.25
25	10	10	5.6734
26	10	10	3.691
27	10	10.006	1.4923
28	10	10.051	0.412
29	10	10.0934	0.0056
30	10	10.004	0.0007
31	10	10.04	0.0001

Figura 4.14: Curva de prueba N° 01



Elaboración: propia (tomada el 30 de octubre del 2018)

En la **tabla 4.1** se puede observar la respuesta del controlador difuso a la entrada de nivel de líquido (set point) igual a 10 cm que presenta la planta, pero esta se encuentra programada al llegar al nivel de 10 cm el cual desactiva la bomba de agua para lograr el control adecuado

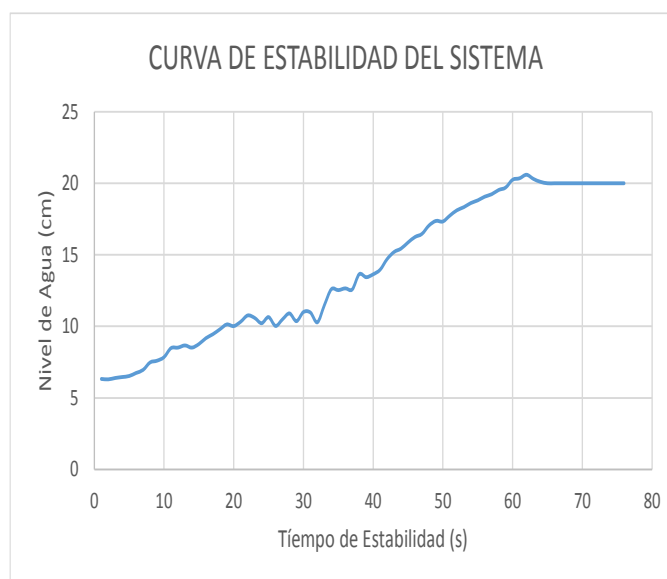
De igual manera se observa en la **figura 69** la curva de estabilidad donde podemos apreciar que existen pequeñas variaciones en los sensores ultrasónicos, ocasionados por el ruido infiltrado del ambiente. Por otro lado, también se puede apreciar que el sobre pico en el proceso de estabilidad es inferior con respecto a los controladores conocidos (P, PI y PID) logrando así un proceso de control más confiable.

- **Segundo Resultado:** Set Point 20 cm

Tabla 4.2: Prueba N° 02

Tiempo (s)	NIVEL DE AGUA SET POINT (cm)	NIVEL DE AGUA TANQUE 01 (cm)	CAUDAL L/min
1	20	6.32251	26.2617
2	20	6.29395	26.2749
3	20	6.38916	26.2947
4	20	6.45581	26.3342
5	20	6.82715	26.3672
6	20	6.74146	26.3804
7	20	6.65577	26.387
8	20	7.67456	26.4133
9	20	7.59839	26.4727
10	20	7.84595	26.532
11	20	8.47437	26.5649
12	20	8.71241	26.5715
13	20	8.46485	26.5979
14	20	8.51245	26.6045
15	20	8.76001	26.6177
16	20	9.16944	26.6177
17	20	9.44556	26.6309
18	20	9.78833	26.6243
19	20	10.1311	26.6309
20	20	10.0168	26.6309
22	20	10.7595	26.6374
24	20	7.21753	26.2156
26	20	9.02661	27.067
28	20	9.90259	26.60154
30	20	9.5979	26.63901
35	20	12.9304	24.1787
40	20	13.635	22.2341
45	20	15.863	21.8254
50	20	17.3293	20.2039
55	20	18.8052	13.6516
60	20	20.2429	2.1956
62	20	20.5952	0.00345

Figura 4.15: Curva de prueba N° 02



Elaboración: propia (tomada el 31 de octubre del 2018)

En la **Tabla 4.2** se puede observar la respuesta del controlador difuso a la entrada de nivel de líquido (set point) igual a 20 cm que presenta la planta, esta también se encuentra programada al llegar al nivel de 20 cm el cual desactiva la bomba de agua para lograr el control adecuado.

En la **figura 70** también se puede apreciar que el sobre pico en el proceso de estabilidad no es muy alto, logrando así un control más confiable.

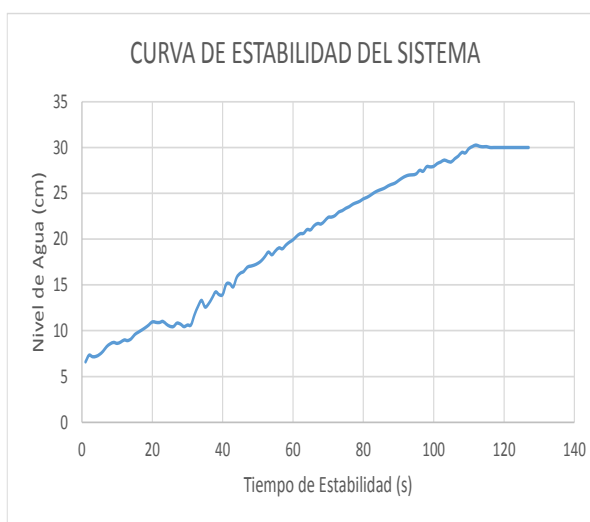
También se puede apreciar que los caudales del líquido se mantienen en niveles normales cuando el sensor ultrasónico no tiene interferencias.

- **Tercer Resultado:** Set point 30 cm

Tabla 4.3: Prueba N° 03

Tiempo (s)	NIVEL DE AGUA SET POINT (cm)	NIVEL DE AGUA TANQUE 01 (cm)	CAUDAL L/min
1	30	6.58911	26.1101
2	30	7.32227	26.1167
3	30	7.1604	26.1035
4	30	7.19849	26.0903
5	30	7.40796	26.1101
6	30	7.76026	26.0903
7	30	8.25537	26.1101
8	30	8.56006	26.1035
9	30	8.72193	26.1101
10	30	8.61719	26.0969
13	30	8.92188	26.0442
16	30	9.83594	25.886
19	30	10.6262	25.7937
22	30	10.8928	25.7476
25	30	10.4834	25.9058
30	30	9.61695	26.3901
35	30	12.5781	26.0046
40	30	13.9492	26.0046
45	30	16.2725	25.9321
50	30	17.3579	25.6157
55	30	18.71	25.2664
60	30	19.9192	24.0469
65	30	21.0142	22.7878
70	30	22.3757	22.01
80	30	24.3943	21.2058
90	30	26.3938	17.8901
100	30	27.9458	9.82837
114	30	30.2786	0.00765

Figura 4.16: Curva de prueba N° 03



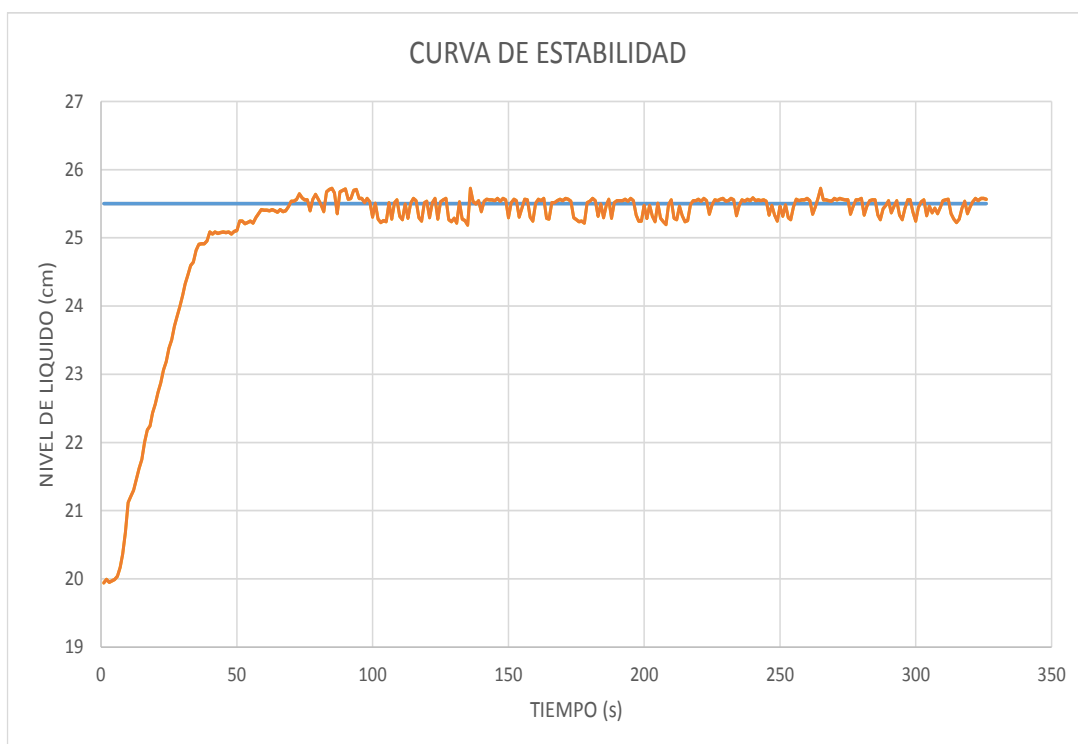
Elaboración: propia (tomada el 31 de octubre del 2018)

En esta prueba también se notó la reducción del sobre pico en la estabilidad del sistema.

Estas mediciones fueron realizadas en un tanque de aproximadamente de 60 litros de capacidad, pero solo se llegó a un máximo de 52 litros por detalles de seguridad de la planta.

- Resumen de Curvas de Estabilidad tomadas en el módulo de control:

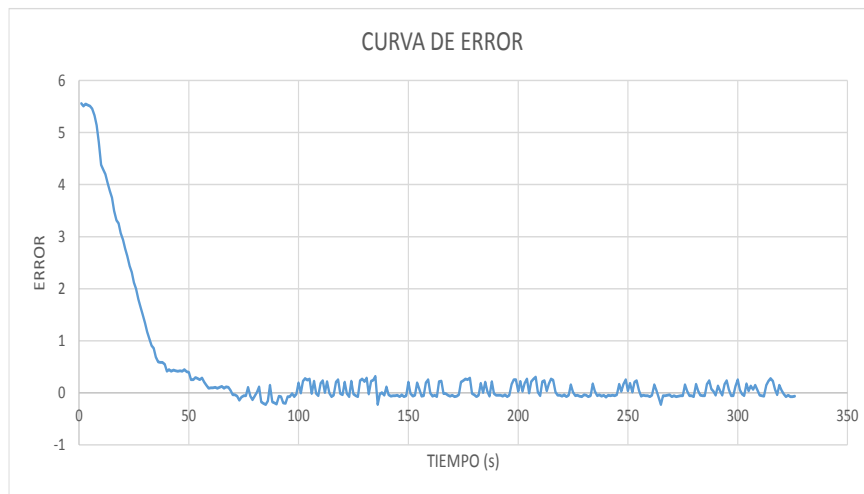
Figura 4.17: Resumen de Curvas de Estabilidad



Elaboración: propia

- Resumen de Curvas de errores:

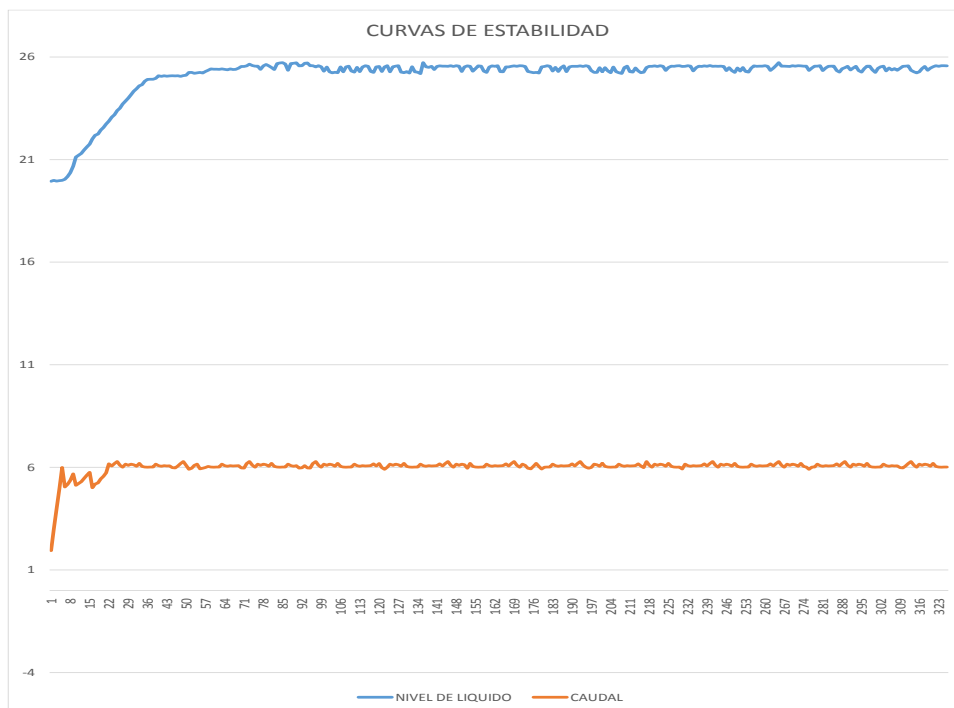
Figura 4.18: Resumen de Curvas de Errores



Elaboración: propia

- Curvas de Nivel y Caudal:

Figura 4.19: Curvas de Nivel y Caudal



Elaboración: propia

CONCLUSIONES

PRIMERO. - Se ha logrado diseñar e implementar el módulo de control de nivel de líquido utilizando la lógica difusa, logrando la mejora en el proceso de llenado y medición de niveles de líquido, esto debido a que el error de nivel lo reduce de 5% (con un sensor que flota) a un 1%, dándonos así un tiempo de respuesta de 0.5 segundos logrando trabajar con mayor seguridad.

SEGUNDO. - Se diseñó un sistema scada en LabVIEW donde se pudo visualizar el nivel de agua en los dos tanques. Este entorno visual diseñado muestra los resultados del proceso de llenado del tanque, esto genera un control sobre el tiempo estimado de llenado de cualquier tanque en el que se coloque este sistema.

TERCERO. – Se logró el diseño correcto del sistema mecánico -electrónico, asegurando así el normal funcionamiento del sistema.

RECOMENDACIONES

PRIMERO. - Al analizar el proceso de control de nivel se debe considerar otros líquidos que sean diferente, ya que en las pruebas realizadas solo se comprobó con agua, pero también podría trabajar con otros materiales como aceite, petróleo, entre otros.

SEGUNDO. - Se debe implementar un plan de mantenimiento preventivo y correctivo de la bomba de agua y tanques de agua. Además de la calibración de los sensores dependiendo los rangos de operación del sistema.

TERCERO. - La tesis se orienta a la implementación en el laboratorio de control y automatización de la EPIME, pero depende mucho de la base de conocimiento, y si se logra el adecuado manejo del sistema se podría avanzar un paso mas y diseñar un controlador “FUZZY PID” para la optimización del sistema actual.

REFERENCIAS

- ZADEH, LOFTI A.: 1965 "Fuzzy Sets". Information and Control. 8.
- Adán Cortés de la Cruz, Oscar Arenas Rosales , (2011) Sistema de Control de Temperatura para Incubadora Avícola con Control Difuso y la Plataforma Labview
- Gomez at. J. (2008). Temas especiales de instrumentacion y control. Cuba:Editorial Felix Varela
- Cowie, Charles J. 2001. Adjustable Frecuency Drive Application Training. Presentation de Power point
- http://ice.uaz.edu.mx/c/document_library/get_file?uuid=16eaf7c5-e1e6-44c2-a4c6-16f542e08032&groupId=54327
- Issac Salomón Jiménez Escamilla (2012) Control de Temperatura de un Horno Eléctrico mediante Lógica Difusa”
http://jupiter.utm.mx/~tesis_dig/11597.pdf
- Medición de nivel de liquidos,
<http://materias.fi.uba.ar/7609/material/S0303Medicion Nivel1.pdf>
- Logica Difusa y Sistema de Control,
http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_185_184_133_1746.pdf
- Válvulas de Control,
<http://www.monografias.com/trabajos11/valvus/valvus.shtm>
- <http://www.monografias.com/trabajos99/medicion-y-control-del-nivel-liquido-sistema-scada/medicion-y-control-del-nivel-liquido-sistema-scada2.shtml>
- Rodríguez (2007) sistema scada.
- Ying, H. (2000): Fuzzy Control and modeling: Analytical foundations and

Applications. New York: IEEE

- Pallas, R. (2003): Sensores y acondicionamiento de señal 4ta Edición.
- PEDRO PONCE CRUZ (2010) inteligencia artificial con aplicaciones a la ingeniería. Ed. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., Mexico
- <http://electronilab.co/tienda/sensor-de-distancia-de-ultrasonido-hc-sr04/>
- https://es.wikipedia.org/wiki/Automatizaci%C3%B3n_industrial.
- https://es.wikipedia.org/wiki/Control_de_nivel.
- <https://sensores-liquido/108-sensor-de-flujo-de-agua-12-yf-s201.html>
- <https://core.ac.uk/download/pdf/61561459.pdf>
- <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/inversores>
- [https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_\(electr%C3%B3nica\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Inversor_(electr%C3%B3nica))
- <https://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
- <http://www.ni.com/getting-started/labview-basics/esa>
- Babuska, R. (1998). Fuzzy and modeling for control. New York: Academic Publishers

ANEXOS

ANEXO N°01: IMÁGENES DE DISEÑO DEL CONTROLADOR

Reconocimiento del software



Elaboración: Propia

Análisis y diseño del sistema mecánico - eléctrico



Elaboración: Propia

Diseño del controlador fuzzy en el NImyRio 1900



Elaboración: Propia

Conexión del myRio en el tablero de mando



Elaboración: propia

ANEXO N°02: Arduino Nano V3 – ATmega328 5V + Cable USB Compatible**Características**

- Microcontrolador: Atmel ATmega328 (ATmega168 versiones anteriores)
- Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- Tensión de Entrada (recomendado): 5 V
- Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- Entradas Analógicas: 8 Corriente máx por cada PIN de E/S: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader (16 KB – ATmega168)
- SRAM: 2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168)
- Frecuencia de reloj: 16 MHz
- Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm

Energía

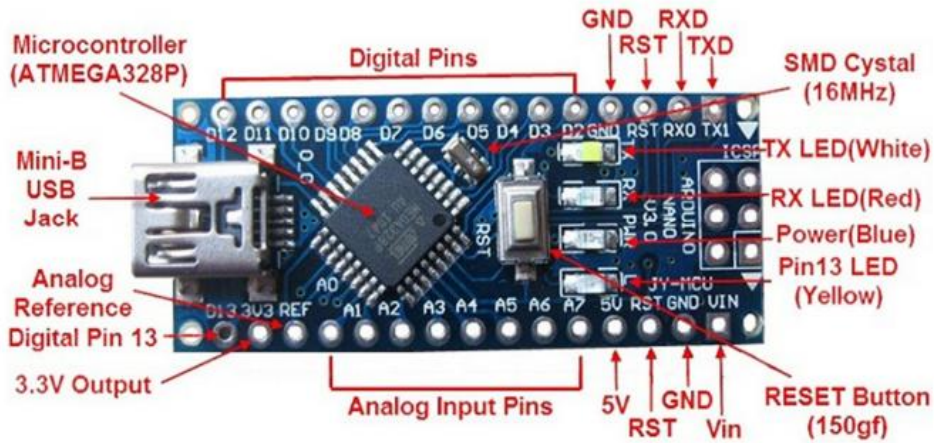
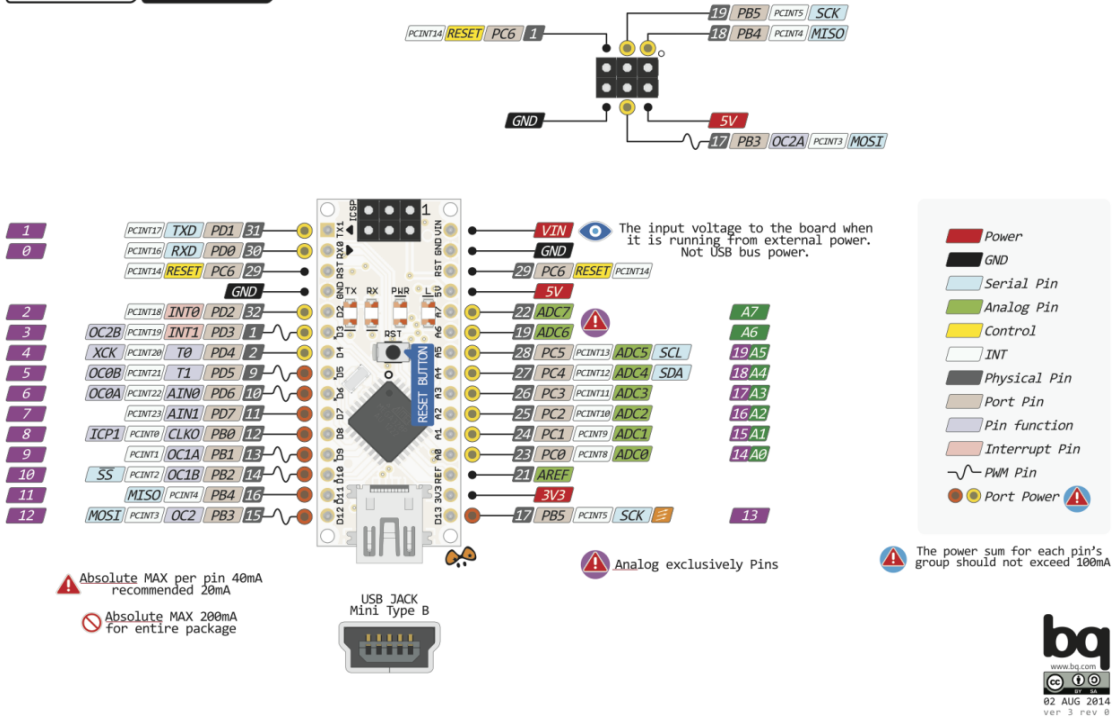
El Arduino Nano posee selección automática de la fuente de alimentación y puede ser alimentado a través de:

- Una conexión Mini-B USB.
- Una fuente de alimentación no regulada de 6-20V (pin 30).
- Una fuente de alimentación regulada de 5V (pin 27)

Al alimentar el arduino a través del Mini USB, el CH340 proporciona una salida de 3.3V en el pin 16 de la placa. Por ende, cuando se conecta a una fuente externa (no USB), los 3.3V no se encuentran disponibles.

Diagrama de Pines

NANO PINOUT



ANEXO N°03: MANUAL DEL VARIADOR DE VELOCIDAD

Altivar 11 E347

Manual técnico

Variadores de velocidad para aplicaciones de bombas



Referencias de los variadores

Tensión de alimentación monofásica: 200...240 V 50/60 Hz

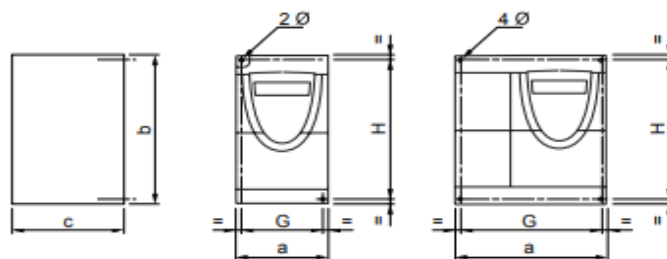
Motor trifásico 200...240 V

Motor	Red		Altivar 11			Referencia (3)
	Potencia indicada en la placa (1)	Corriente de línea máx. en 230 V	Icc de línea estimada máx.	Corriente nominal	Corriente transitoria máx. (2)	
kW/HP	A	kA	A	A	W	
0,18/0,25	2,9	1	1,1	1,6	12	ATV11HU05M2E347
0,37/0,5	5,3	1	2,1	3,1	20,5	ATV11●U09M2E347
0,55/0,75	6,3	1	3	4,5	29	ATV11●U12M2E347
0,75/1	8,6	1	3,6	5,4	37	ATV11●U18M2E347
1,5/2	14,8	1	6,8	10,2	72	ATV11HU29M2E347
2,2/3	20,8	1	9,6	14,4	96	ATV11HU41M2E347

- (1) Las potencias indicadas corresponden a una frecuencia de corte de 4 kHz, con una utilización en régimen permanente. La frecuencia de corte puede ajustarse entre 2 y 12 kHz. Con frecuencias superiores a 4 kHz, el variador reducirá por sí mismo la frecuencia de corte si éste se calienta en exceso. El calentamiento se controla con una sonda PTC en el propio módulo de potencia. No obstante, debe aplicarse una desclasificación a la corriente nominal del variador en caso de que el funcionamiento a más de 4 kHz deba ser permanente:
 - Desclasificación del 10% para 8 kHz.
 - Desclasificación del 20% para 12 kHz.
- (2) Durante 60 segundos.
- (3) Los variadores cuya referencia incluya un ● están disponibles en dos versiones:
 - Con radiador, sustituya el ● por una H (ATV11HU09M2E347, por ejemplo)
 - Sin radiador, sustituya el ● por una P (ATV11PU09M2E347, por ejemplo)

Montaje

Dimensiones y pesos



ATV 11H	a mm	b mm	c mm	G mm	H mm	Ø mm	Tornillo	Peso kg
U05M2E347	72	142	108	60±1	131±1	2 x 5	M4	0,70
U09M2E347	72	142	132	60±1	120±1	2 x 5	M4	0,85
U12M2E347	72	142	145	60±1	120±1	2 x 5	M4	0,92
U18M2E347								
U29M2E347	117	142	163	106±0,5	131±1	4 x 5	M4	1,6
U41M2E347								

ATV 11P	a mm	b mm	c mm	G mm	H mm	Ø mm	Tornillo	Peso kg
Cualquier calibre	72	142	108	60±1	131±1	2 x 5	M4	0,67

Borneros de potencia

El acceso a los borneros de potencia se realiza sin abrir la tapa. El cableado es transversal: se conecta a la red por la parte superior del variador (R/L1-S/L2 en 230 V monofásica), la alimentación del motor por la parte inferior del variador (U - V - W).



Conecte los bornes de potencia antes que los de control.

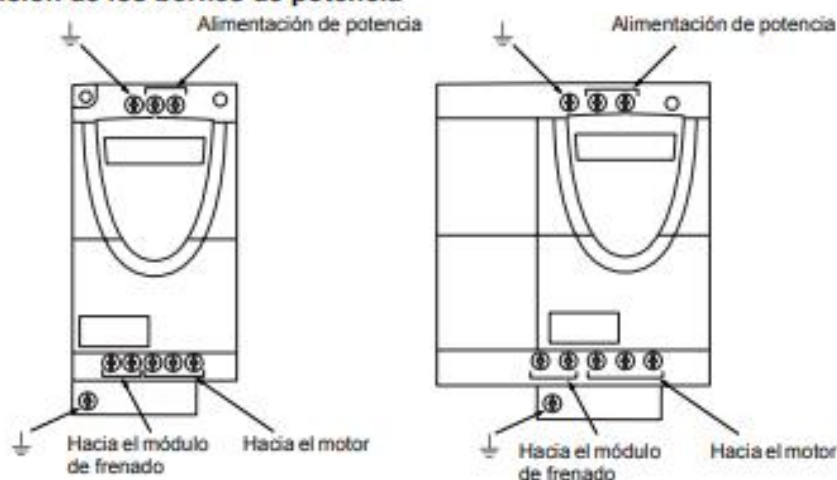
Características de los bornes de potencia

Altivar ATV 11●	Capacidad máxima de conexión		Par de ajuste en Nm
	AWG	mm ²	
U05M2E347 U09M2E347 U18M2E347	AWG 14	1,5	0,75
U29M2E347 U41M2E347	AWG 10	4	1

Función de los bornes de potencia

Bornes	Función	Para el Altivar ATV 11
+	Borne de masa.	Cualquier calibre
R/L1 - S/L2/N	Alimentación de potencia.	Cualquier calibre
PA/+	Salida + (---) hacia el módulo de frenado.	Cualquier calibre
PC/-	Salida - (---) hacia el módulo de frenado.	Cualquier calibre
U - V - W	Salidas hacia el motor.	Cualquier calibre
+	Borne de masa.	Cualquier calibre

Disposición de los bornes de potencia



Cableado

Borneros de control

Para acceder al bornero de control, abra la tapa tal y como se indica a continuación.



Disposición, características y funciones de los bornes de control

RC	RA	No utilizado	0 V	AI1	+5 V	DO	LI1	LI2	LI3	LI4
⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	⊖

- Capacidad máxima de conexión: 1,5 mm² - AWG 14
- Par de apriete máx.: 0,5 Nm

Borne	Función	Características eléctricas
RC RA	Contacto del relé de fallo (abierto en caso de fallo o de ausencia de tensión).	Poder de conmutación mín.: • 10 mA para 24 V = Poder de conmutación máx.: • 2 A para 250 V ~ y 30 V = con carga inductiva (cos φ = 0,4 y L/R = 7 ms) • 5 A para 250 V ~ y 30 V = con carga resistiva (cos φ = 1 y L/R = 0) • tiempo de muestreo 20 ms máx.