



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA NIVEL BIESTABLE Y
MEDICIÓN CAUDAL PARA TANQUES ELEVADOS EN TIEMPO REAL**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniería Electromecánica

Autores:

Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael

Grandes Mora Walter Mauricio

Tutor:

MSc. Villarroel Herrera Nelson Jhonatan

La Maná - Ecuador

Agosto 2021

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael y Grandes Mora Walter Mauricio declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: Diseño e implementación de un sistema nivel biestable y medición caudal para tanques elevados en tiempo real, siendo el MSc. Villarroel Herrera Nelson Jhonatan tutor del presente trabajo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael
C.I.: 080374231-1



Grandes Mora Walter Mauricio
C.I.: 175359060-1

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Diseño e implementación de un sistema nivel biestable y medición caudal para tanques elevados en tiempo real” de Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael y Grandes Mora Walter Mauricio de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad Académica de Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

La Maná, agosto 2021



MSc. Villarroel Herrera Nelson Jhonatan
C.I.: 050275325-4
TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente informe de investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Electromecánica por cuanto los postulantes Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael y Grandes Mora Walter Mauricio y con el título de Proyecto de Investigación: Diseño e implementación de un sistema nivel biestable y medición caudal para tanques elevados en tiempo real, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

La Maná, agosto del 2021

Para constancia firman:



MSc. Carrillo Velarde Guido Gabriel
C.I.: 060424330-3
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



MSc. Bázaga Quesada Joao Lázaro
C.I.: 175702540-6
LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ph.D. Morales Torres Marioxy Janeth
C.I.: 175772892-6
LECTOR 3 (SECRETARIA)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar queremos agradecer a nuestras familias; a nuestros padres quienes nos facilitaron nuestros años de estudio en la medida de sus posibilidades. También queremos agradecer a todos y cada uno de los profesores que contribuyeron a nuestra formación académica como ingenieros de manera especial al Mg. Ringo López. Agradecemos todo su apoyo comprensión y sobre todo motivación durante todos estos años de estudio y trabajo.

Rumualdo y Walter

DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a esas personas que nos han dado todo y nos han formado como las personas que somos: Nuestros padres

Rumaldo y Walter

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TÍTULO: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA NIVEL BIESTABLE Y MEDICIÓN CAUDAL PARA TANQUES ELEVADOS EN TIEMPO REAL”

Autores:

Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael
Grandes Mora Walter Mauricio

RESUMEN

En el presente proyecto se diseña, simula y construye un sistema de control de nivel biestable para el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi con la finalidad de capacitar a sus estudiantes en el ámbito industrial por medio del desarrollo de conceptos básicos en instrumentación electrónica y control automático. Se toman en cuenta durante las operaciones de simulación aspectos como normativa, organización y correcta conexión de los elementos que conforman el sistema de control. La planta didáctica se desarrolla para el control, medición y monitoreo en tiempo real de nivel y caudal de dos tanques conectados entre sí. El diseño se prepara de tres fases, la de recolección de información y selección del medio de comunicación, el proceso de instrumentación y control y el procedimiento de visualización y toma de datos. Los mecanismos esenciales a utilizar para el control de nivel del líquido son: sensor de nivel de agua tipo flotador, una bomba DC-12V encargada de transportar el líquido al tanque de control, dónde es monitoreado a través de un sensor ultrasónico (HC-SR04) colocado en la parte superior del tanque, adicional el sistema cuenta con un sensor de Caudal (YF-S201) 0.0127m, instalado a la salida para recolección de datos a partir de la medición de la señal actuante. Por otra parte, el sistema de drenaje se compone por una válvula manual situada en la parte trasera del tanque, que se encargan de realizar perturbaciones al sistema y dar paso al vaciado. Para el control, medición y monitoreo se va a utilizar como controlador el Arduino Mega y se va a desarrollar de dos maneras, la primera mediante un panel de control (Display, teclado, botones, indicadores etc.) y la segunda por medio de una interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW 2020. Estas dos formas le conceden al usuario la posibilidad de interactuar en tiempo real con el arquetipo, demostrando cambios y características mostradas en los parámetros de cada una de las variables de entrada y salida del sistema.

Palabras claves: Nivel, Caudal, Tanque, Sensor, Interfaz

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE: "DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A BISTABLE LEVEL SYSTEM AND FLOW MEASUREMENT FOR ELEVATED TANKS IN REAL TIME"

Authors:

Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael
Grandes Mora Walter Mauricio

ABSTRACT

This project design simulates and builds a bistable level control system for the electromechanical laboratory of the Technical University of Cotopaxi to train students in the industrial field through the development of basic concepts in electronic instrumentation and automatic control. For this purpose, aspects such as regulations, organization, and correct connection of each of the elements that make up the control system are taken into account during the simulation and construction procedures. The didactic plant presented is developed for the control, measurement, and monitoring in real-time of the level and flow of two tanks coupled together. The design is composed of three stages: the information gathering phase and selection of the communication media through the visit to the physical station, the instrumentation and control process, and the visualization and data acquisition procedure. The fundamental components to be used for the liquid level control are float type water level sensor, it also has a DC-12V pump in charge of taking the liquid to the control tank, where it is monitored through an ultrasonic sensor (HC-SR04) placed in the upper part of the tank, additionally, the system has a flow sensor (YF-S201) installed at the outlet for data collection from the measurement of the actuating signal. On the other hand, the drainage system consists of a manual valve located at the rear of the tank, which is responsible for making disturbances to the system and give way to the emptying process. For the functions of control, measurement and monitoring will be used as Arduino Mega controller and will be able to develop in two ways. The first one is through a control panel (Display, keyboard, buttons, indicators, etc.) and the second one through a graphical interface developed in LabVIEW 2020. These two ways give the user the possibility to interact in real-time with the prototype, showing changes and characteristics presented in the parameters of each of the input and output variables of the system.

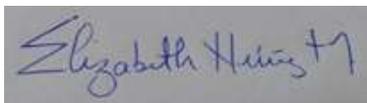
Keywords: Level, Flow, Tank, Sensor, Interface

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de docente del centro de idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná; en forma legal CERTIFICO que, la traducción del resumen del proyecto de investigación al idioma inglés, presentado por los señores egresados: Aillon Ganchozo Rumualdo Rafael y Grandes Mora Walter Mauricio, cuyo título versa “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA NIVEL BIESTABLE Y MEDICIÓN CAUDAL PARA TANQUES ELEVADOS EN TIEMPO REAL**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a las peticiarias hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimare conveniente.

Atentamente



Lc. Núñez Moreira Wendy Elizabeth

C.I.: 0925025041

DOCENTE DEL CENTRO DE IDIOMAS UTC LA MANÁ

ÍNDICE

PORTADA.....	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA.....	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE.....	x
1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	2
3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	3
4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO	4
5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
6. OBJETIVOS	5
8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA.....	7
8.1 Antecedentes Investigativos	7
8.2. Fundamentación teórica.....	8
8.2.1. Breve historia del control automático.....	8
8.2.2. Sistemas de Automatización Industrial	11
8.2.3. Teoría General de control automático	13
8.2.4. Elementos de los sistemas de control	13
8.2.5. Valores de referencia	16
8.2.5.1. Controles de lazo abierto y de lazo cerrado.....	16
8.2.6. Monitorización en la Industria.....	18
8.2.7. Interfaz Hombre-Máquina (HMI).....	20
8.2.8. Medición de flujo	21
8.2.9. Medición de nivel	22
8.2.9.1. Tipos de Control de Nivel	23
8.2.9.1.1 Medición de niveles por ultrasonido	24
8.2.10. Hardware Libre	25
9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS.	27
10. METODOLOGÍA.....	28
11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	30

11.1.	Diseño de la planta didáctica.....	31
11.1.1.	Diseño del prototipo de control de nivel biestable y caudal en tiempo real.....	31
11.2.	Programación y Simulación del prototipo.....	35
11.3.	Descripción de softwares para simulación.....	38
11.5.	Pruebas de simulación.....	44
11.6.	Implementación del Prototipo.....	48
11.7.	Análisis del funcionamiento del prototipo.....	51
12.	IMPACTOS.....	54
13.	PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	53
14.1.	CONCLUSIONES.....	57
14.2.	RECOMENDACIONES.....	58
15.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	58
16.	BIBLIOGRAFIA.....	60
	ANEXOS.....	61

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1: Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.....	6
Tabla 2: Presupuesto para implementar la propuesta del proyecto	56
Tabla 3. Cronograma de actividades	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Croquis de la incubadora de Drebbel para empollar huevos de gallina	9
Figura 2. Croquis de la máquina de vapor de Watt.	10
Figura 3. Principio de caja negra.	14
Figura 4. Diagrama de sistemas de lazo abierto.	17
Figura 5. Diagrama de sistemas de lazo cerrado.	17
Figura 6. Control de nivel alto y bajo	23
Figura 7. Medición de nivel por ultrasonido.	24
Figura 8: Arduino Mega 2560.	28
Figura 9: Bomba DC-12V	34
Figura 10. Librerías usadas en la programación de Prototipo.	36
Figura 11. Configuración de los componentes.	36
Figura 12. Función para medir nivel del tanque.	37
Figura 13. Vista principal de Proteus Design Suite 8.10.	38
Figura 14. Diseño de la simulación del Prototipo.	39
Figura 15. Simulación del Prototipo.	40
Figura 16. Simulación de conexión de Proteus con la interfaz HMI en LabView.	41
Figura 17. Programación para calcular el flujo de salida de tanque.	42
Figura 18. Interfaz visual HMI.	43
Figura 19. Programación gráfica del prototipo.	44
Figura 20. Menú Calibración.	45
Figura 21. Visualización de los valores de configuración.	45
Figura 22. Menú de configuración manual de los parámetros.	46
Figura 23. Modo manual	46
Figura 24. Modo automático bomba encendida	47
Figura 25. Modo Automático interfaz HMI LabView.	47
Figura 26. Prueba de llenado y anti fugas.	49
Figura 27. Sensores y actuadores.	50

Figura 28. Conexiones eléctricas del sistema.....	50
Figura 29. Prototipo terminado.....	51
Figura 30. Calibración del sensor ultrasónico.	52
Figura 31: Pruebas generales de funcionamiento.....	53
Figura 32. Pruebas de funcionamiento.	54
Figura 33: Inicio del sistema.....	61
Figura 34: Menú de configuración.....	61
Figura 35. Menú de configuración inicial	62
Figura 36. Modo Manual.....	62
Figura 37. Modo manual del sistema	63
Figura 38. Modo Automático	63
Figura 39. Medición del caudal.....	64
Figura 40. Mensaje (No hay agua)	64
Figura 41. Mensaje (Parada de Emergencia).....	64
Figura 42. Modificar los parámetros	65
Figura 43. Modificar los parámetros	65
Figura 44. HMI (Human-Machine-Interface).....	66
Figura 45. Paneles de control	67
Figura 46. Interfaz HMI	67
Figura 47. Simulación Proteus	68
Figura 48. Simulación del teclado matricial en Proteus.....	69
Figura 49. Configurar el parámetro de forma manual.....	70
Figura 51. Encendido de bomba.....	70
Figura 52. Parámetros de Setpoint.....	71
Figura 53: Simulación del nivel en el tanque	71
Figura 54. Simulación del caudal de salida con el sensor YF-S201	72
Figura 55. Medición del caudal	72
Figura 56. Sensor nivel de agua tipo flotador.....	72
Figura 57. Parada de emergencia.....	73
Figura 58. Parámetros de Setpoint.....	74

Figura 59. Simulación de la interfaz HMI de LabView 2020	74
Figura 60. Componente COMPIM	75
Figura 61. Simulación en Proteus.....	75
Figura 62. Paneles de control	76
Figura 63. Interfaz HMI	76
Figura 64. Prototipo.....	77
Figura 65. Conexiones.....	78
Figura 66. Pines del Arduino Mega.....	79
Figura 67. Esquema de conexión del teclado matricial	79
Figura 68. Pin Echo y Trigger	80
Figura 69. Conexión del CAUDALIMETRO YF-S201.....	80
Figura 70. Conexión de la bomba.....	81
Figura 71. Conexión del Buzzer de la Alarma	81
Figura 72. Caja de paso Plástica.....	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Manual de Usuario.....	61
Anexo 2. Manual de Usuario de la simulación. Proteus y LabVIEW.....	68
Anexo 3. Manual de Construcción.....	77
Anexo 4. Reporte Original.....	83

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del Proyecto

“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA NIVEL BIESTABLE Y MEDICIÓN CAUDAL PARA TANQUES ELEVADOS EN TIEMPO REAL”

Fecha de inicio: Abril 2021

Fecha de finalización: Agosto de 2021

Lugar de ejecución: Cantón La Maná – Provincia Cotopaxi

Unidad Académica que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica.

Equipo de Trabajo: MSc. Villarroel Herrera Nelson Jhonatan

Aillon Ganchozo Romualdo Rafael

Grandes Mora Walter Mauricio

Área de conocimiento: 07. Ingeniería, industria y construcción

071. Ingeniería y profesiones afines mecánica, ingeniería

0713. Energética y química.

Línea de investigación: 4. Procesos industriales

Sub líneas de investigación: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente proyecto de investigación se diseña e implementa un sistema nivel biestable y medición caudal para tanques elevados en tiempo real para el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Para ello lo primero que se tiene en cuenta son los principios físicos y fundamentos teóricos que rigen la electromecánica, así como a cada uno de los componentes a utilizar para el diseño. Mientras que en la práctica se toman en cuenta durante los procedimientos de simulación y construcción del prototipo aspectos tales como normativa, organización y correcta conexión de cada uno de los elementos que conforman el sistema de control.

La planta didáctica se implementa para el control, medición y monitoreo en tiempo real de nivel y caudal de uno o varios tanques elevados acoplados entre sí. El acoplamiento de los tanques se realiza a través de tuberías conectadas en paralelo de forma tal que durante el proceso de llenado y vaciado lo hacen en simultáneo. Por otra parte el sistema de desagüe se compone por una válvula manual ubicada en la parte trasera del tanque, que se encargan de ejecutar perturbaciones al sistema y dar paso al vaciado.

El diseño se compone de tres fases: recolección de información y elección del medio de comunicación, la fase de instrumentación, control y la fase de visualización y toma de datos. Los componentes esenciales a utilizar para el control de nivel del líquido son: sensor de nivel de agua tipo flotador, una bomba DC-12V encargada de llevar el líquido al tanque de control, donde es monitoreado a través de un sensor ultrasónico (HC-SR04) colocado en la parte superior del tanque, adicional el sistema cuenta con un sensor de Caudal (YF-S201) 0.0127m instalado a la salida para recolección de datos a partir de la medición de la señal actuante.

Las funciones de control, medición y monitoreo se van a desarrollar de dos maneras, la primera mediante un panel de control (Display, teclado, botones, indicadores etc.) y la segunda por medio de una interfaz gráfica desarrollada en el software LabVIEW 2020. Estas dos formas le conceden al usuario la posibilidad de interactuar en tiempo real con el modelo, demostrando cambios y características presentadas en los parámetros de cada una de las variables de entrada y salida del sistema, siendo en este caso las principales variables el nivel del líquido la variable de entrada y el caudal la variable de salida.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El cálculo de caudal y nivel biestable de líquidos en tiempo real para tanques elevado en la actualidad es muy necesaria para el control sostenible de líquidos tales como el agua, por lo tanto, la automatización de este tipo de técnicas presentes en la vida cotidiana se ha vuelto una práctica para las comunidades como para las grandes industrias. Estos sistemas automatizados han abierto un nuevo período en la toma de decisiones en los diferentes sectores tecnológicos. Además, gracias a la ejecución de estos sistemas se ha podido relegar de la presencia humana en sectores de dificultoso acceso, reemplazada por dispositivos de uso determinado asignados de diferentes grados de libertad que son capaces de situar casi sobre cualquier área o lugar para ejecutar en este caso el proceso de medición de caudal y nivel biestable en tiempo real.

El presente trabajo de investigación es la configuración de un dispositivo que ayudará al proceso de medición del caudal en aguas en los tanques elevados en tiempo real a partir de programas como el Arduino 2020 y el LabVIEW 2020 que le permitirá al laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi ofrecer a los estudiantes de esta institución destrezas reales en el manejo de nuevas tecnologías. Este dispositivo, aprueba la programación y control de los movimientos del líquido, así como la memorización de diferentes series de trabajo, concediendo al usuario una gran cantidad de información útil. El impacto que presenta el uso de esta tecnología es de gran beneficio para la Universidad de Cotopaxi y las diferentes ciudades y poblaciones vecinas a la misma, puesto que su uso ofrecerá los siguientes efectos: económicos ya que el control de nivel biestable y medición de caudal para tanques elevados en tiempo real, es positiva y de bajo precio con referencia a otros métodos utilizados; ecológicos, ya que el uso de este dispositivo suministra un control sostenible del tan preciado líquido; científicos y/o tecnológicos, ya que se proporcionará inicio a la creación de nuevos sistemas que manejen tecnologías similares como es el LOGO de SIEMENS, que admite el control de varias salidas mediante la programación de varias entradas.

4. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

Los principales beneficiarios del proyecto son los estudiantes de la carrera de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná que podrán contar con un prototipo educativo – práctico que les permita conocer y ampliar sus conocimientos.

Los beneficiarios también serán quienes formen parte de La Universidad Técnica de Cotopaxi ya que se podrá demostrar que es un centro educativo con excelente proyección académica; que forma profesionales experimentados y capacitados para desenvolverse en el campo laboral.

5. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En la actualidad la Ingeniería Electromecánica tiene una estrecha dependencia con el campo del Control Industrial, estas ramas en conjunto constituyen una tecnología de automatización de procesos lo que reconoce un mayor progreso a nivel industrial. Como parte del proceso de estudio de estas disciplinas se ejecutan diferentes ejercicios de programación en los cuales se aplican controladores lógicos y sensores los cuales ayudan a los estudiantes en la práctica y a los docentes en el proceso de formación de profesionales. Se requieren sistemas de control que sean idóneos de impedir el derramamiento de líquidos en tanques elevados o fugas en tuberías, tanto en las industrias, como en los hogares e instituciones en general. Esta tendencia trae como consecuencia un gasto necesario para la ejecución de los diferentes sistemas de control existentes en el mercado, sin embargo, en comparación con el gasto por el de consumo de agua ocasionado por el desperdicio de la misma es menor, además es notable el beneficio que aporta al medio ambiente el control apropiado del preciado líquido.

Por otra parte, el proceso de apertura y cierre de llenado de tanques elevados de forma manual a pesar de ser aparentar ser más económico puede presentar otro tipo de problemas como, por ejemplo: la contaminación del líquido y/o pérdidas en la precisión de llenado del nivel requerido. Por lo general en las industrias e instituciones académicas debe existir un proceso de control enfocado a la medición y monitoreo de nivel del agua del tanque elevado, en vista de su importancia y de que la carrera de electromecánica de la Universidad de Cotopaxi, no dispone de un sistema de adquisición de datos que permita monitorear el flujo de agua almacenada o consumida, surge la necesidad de diseñar un sistema automatizado basado en un

módulo didáctico que permita medir y regular el consumo de caudal en tiempo real, dando la posibilidad a los estudiantes de la carrera de electromecánica profundizar en el estudio de este tema generando los conocimientos necesarios que permitan en futuros proyectos la implementación de este sistema a escala real en dicha institución.

6. OBJETIVOS

6.1. Objetivo general

Implementar un sistema de nivel biestable y medición de caudal, para tanques elevados en tiempo real.

6.2. Objetivos específicos

- Diseñar una planta didáctica de control de nivel biestable utilizando entradas y salidas digitales.
- Desarrollar algoritmos de control y una interfaz Humano-Máquina (HMI) para el control eficiente del sistema.
- Simular el funcionamiento de la planta didáctica a partir de software Proteus 2010 y de la interfaz gráfica a partir del software LabVIEW 2020.
- Construir un prototipo de la planta didáctica que permita la realización de pruebas en tiempo real.
- Validar el sistema de control desarrollado ejecutando pruebas de funcionamiento.
- Elaborar un manual de usuario.

7. ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS.

Tabla 1: Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados.

OBJETIVO ESPECÍFICO	ACTIVIDAD (TAREA)	RESULTADO DE LA ACTIVIDAD	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Diseñar una planta didáctica de control de nivel biestable utilizando entradas y salidas digitales.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseñar un sistema de control automático a partir de sensores y actuadores. • Emplear el controlador Arduino Mega y el Sensor de Caudal modelo (YF-S201) 0.0127m de diámetro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de control de nivel biestable. Modelo automático y manual. • Sistema básico de medición de caudal en litros por minuto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Planta didáctica de control de nivel biestable. • Sistema básico de medición de caudal
Desarrollar algoritmos de control y una interfaz Humano-Máquina (HMI) para el control eficiente del sistema.	Implementar una interfaz Humano-Máquina (HMI).	Se implementa la interfaz gráfica en LabVIEW está incluye el control y la visualización de los datos.	Algoritmos de control y una interfaz Humano-Máquina (HMI).
Simular el funcionamiento de la planta didáctica a partir de software Proteus 2010 y de la interfaz gráfica a partir del software LabVIEW 2020.	Implementar la simulación para el sistema de control.	Ejecución y validación de la simulación del sistema.	Procedimiento experimental para controlar el sistema.
Construir un prototipo de la planta didáctica que permita la realización de pruebas en tiempo real.	Construcción del prototipo e implementar el sistema de control para la planta.	Ejecutar la implementación del sistema de control.	Prototipo de la planta didáctica.
Validar el sistema de control desarrollado ejecutando pruebas de funcionamiento.	Se simulan entornos variables y se procede a la recolección de los datos.	Recolección y almacenamiento de datos útiles.	Procedimiento experimental para comprobar el funcionamiento.
Elaborar un manual de usuario.	Recolección de información e ilustraciones del funcionamiento del sistema.	Redacción de un documento ilustrativo con el paso a paso de como ejecutar el sistema.	Manual de usuario.

Fuente: Estudiantes investigadores

Elaborado por: Los investigadores, 2021

8. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

Los procesos industriales no son procesos en estado estable, sino que son dinámicos por naturaleza, los cambios ocurren de manera constante y si no se realizan las acciones correctivas apropiadas, las variables importantes del proceso, es especial de aquellas relacionadas con la seguridad, pueden desviarse de los valores de diseño. El control automático pretende mantener las variables de proceso, temperatura, presión, flujos, composiciones y demás en un valor de operación óptimo (Smith & Corripio, 2007).

8.1 Antecedentes Investigativos

En los procesos industriales es habitual hallar sistemas que demandan controlar el nivel de tanques. Los sistemas de nivel de líquido representan un modelo determinado de sistemas de control con extensa propagación en medios industriales. Todo proceso que precise acumular sustancias en cualquiera de sus etapas demanda ejecutar registros sobre el nivel de almacén de las mismas. Algunos de los sectores en los que es de gran importancia conservar el nivel de líquido entre parámetros previos determinados son: la industria petroquímica, la producción de papel, el tratamiento de aguas y procesos químicos, en los que por el grado de peligro por contacto humano se demandan procedimientos automatizados.

Según (Guayasamín, 2019), en su proyecto titulado “**Construcción de un sistema de control de nivel biestable y medición de caudal**”, diseña y construye un sistema de control de nivel y medición de caudal con un controlador lógico programable (PLC) y un módulo de salidas digitales para el laboratorio de Tecnología Industrial de la Escuela de Formación de Tecnólogos con el fin de capacitar a los estudiantes, tomando en cuenta en su construcción aspectos como normativa, organización y correcta conexión de los diferentes elementos que conforman el sistema de control. El control de nivel de líquido se realizó mediante un PLC, SIEMENS S7-1200 y un módulo de salidas digitales SM 1222 que en base a la señal analógica del sensor ultrasónico y al algoritmo de control activan las bombas y las electroválvulas logrando así un control de la variable. Todo el proceso es controlado y monitoreado de forma eficiente mediante una interfaz humano-máquina (HMI). Los algoritmos de control y la interfaz humano-máquina HMI para el PLC se realizaron a través del software Portal TIA V15 de SIEMENS.

Ramiro Andrés Astudillo Bastidas, en su Tesis de Grado de la Universidad Tecnológica Israel, en el año 2016 desarrolló el **“Diseño e implementación de un prototipo de medidor de nivel de agua a través de un sensor ultrasónico para pasos deprimidos”**, tema que involucra el diseño e implementación de un prototipo de medidor de nivel de agua a través de un sensor ultrasónico para pasos deprimidos, el dispositivo cuenta con un módulo GSM que sirve para el envío de mensajes de texto a un número de emergencia cuando alcanza los tres niveles de agua previa programación. Este sistema realiza un monitoreo diario de los niveles de agua en los pasos deprimidos, teniendo como solución un sistema de adquisición que permita recolectar las muestras del sensor de nivel a través de una memoria micro SD incorporada en su respectivo adaptador.

En el año 2016, en la Universidad de Piura en Perú se puso en funcionamiento una **“Planta de control para un sistema de tanques acoplados, donde se destacaron varios tipos de control, entre ellos, un controlador PID”** que permitía controlar el nivel por medio de dos electrobombas. Dentro de este mismo sistema, se implementó un controlador MPC y se desarrolló un modelo matemático aplicando ecuaciones diferenciales, leyes físicas y transformadas de Laplace (Gutarra, 2016).

La información recopilada de los repositorios de las Universidades, artículos científicos y páginas destacadas del Internet sobre el control y alertas del vaciado o llenado de un tanque, son de gran importancia que servirán de pauta para continuar en el desarrollo del proyecto.

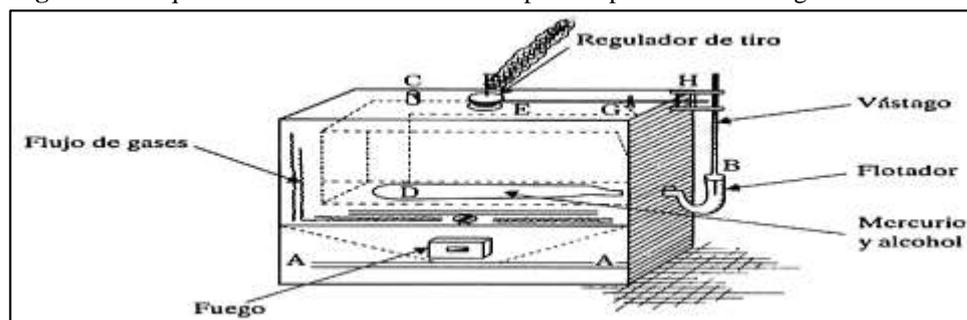
8.2. Fundamentación teórica

8.2.1. Breve historia del control automático

Uno de los primeros trabajos sobre control de mecanismos, desde la antigüedad, es el control de la razón de flujo para regular un reloj de agua, el cual se reduce al control de nivel del fluido, ya que un pequeño orificio produce un flujo constante cuando la presión es constante. El mecanismo inventado en la antigüedad para controlar el nivel de un líquido, y todavía existente hoy día, es la válvula flotante semejante a la del depósito de agua de un inodoro convencional. El flotador está hecho de tal manera que, cuando el nivel baja, el caudal hacia el depósito aumenta y cuando el nivel sube, el caudal disminuye y si es necesario se corta (Franklin, Powell & Emami-Naeini, 2011).

Un caso más moderno de retroalimentación es el control de temperatura de un horno para calentar una incubadora, sistema que fue diseñado por Drebbel hacia 1620. En la Figura 1 se muestra un croquis de este sistema. El horno consta de una caja que contiene el fuego, con un tubo en el parte superior provisto de un controlador de tiro. Dentro de la cámara de combustión está la incubadora de paredes dobles y el hueco que queda entre las paredes se llena con agua. El sensor de temperatura es un recipiente de vidrio lleno de alcohol y mercurio colocado en la cámara de agua entre paredes en torno a la incubadora.

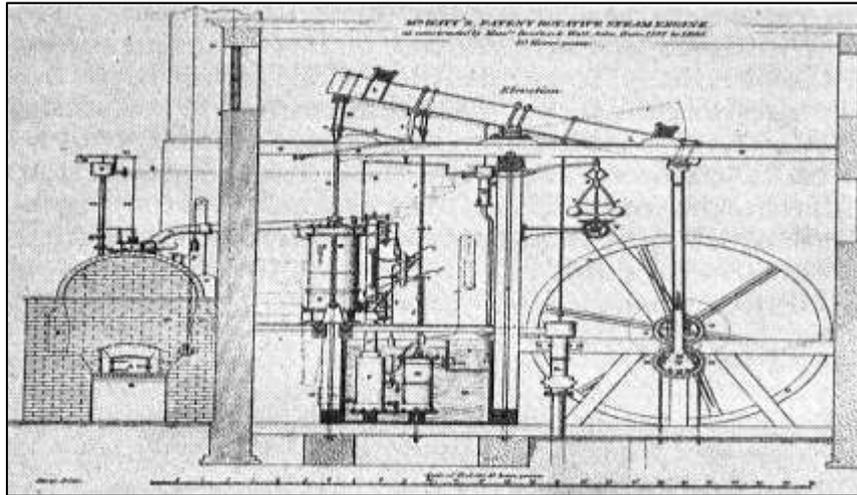
Figura 1: Croquis de la incubadora de Drebbel para empollar huevos de gallina



Fuente: (Franklin, 2011)

En la búsqueda de un medio para controlar la velocidad de rotación de un eje, problema famoso en las crónicas del control automático, como el deseo de controlar de manera automática la velocidad de la piedra de molienda de un molino de viento harinero, de varios métodos intentados, el más prometedor resultó ser el que usaba un péndulo cónico, o controlador de bola flotante. Para medir la velocidad del molino de viento, sus aspas se hacen girar con cuerdas y poleas, para mantener una velocidad fija. Pero fue su adaptación a la máquina de vapor en los laboratorios de James Watt, alrededor de 1788, la que hizo famoso al controlador de bola flotante.

Figura 2. Croquis de la máquina de vapor de Watt.



Fuente: (Franklin, 2011)

Watt determina que una persona controlando la apertura y cierre de las válvulas de vapor no es la mejor manera de mantener la velocidad de su máquina de vapor constante, entonces utiliza el movimiento ascendente de bolas rotatorias como un monitor de velocidad, apagando el vapor conforme la velocidad tiende a aumentar y viceversa (Healey, 1967; Ogata, 1998). Watt al ser un hombre práctico no se ocupa de análisis teóricos del controlador; el primer estudio sistemático de la estabilidad del control retroalimentado lo realiza J. C. Maxwell (1868) en su trabajo “On Governors”. En este trabajo, Maxwell desarrolla las ecuaciones diferenciales del controlador, linealizándolas en torno al equilibrio, y establece que la estabilidad depende de las raíces de una ecuación característica que tenga partes reales negativas. Maxwell intenta derivar las condiciones de los coeficientes de un polinomio, que se cumple si todas las raíces tienen una parte real negativa; lo consigue solo para los casos de segundo y tercer orden.

Con la introducción de los amplificadores electrónicos, las llamadas a larga distancia llegan a ser posibles en las décadas siguientes a la Primera Guerra Mundial; sin embargo, conforme la distancia aumenta, aumenta también la pérdida de energía eléctrica, requiriéndose más y más amplificadores para reemplazar las pérdidas. Con tantos amplificadores se produce mucha distorsión ya que las pequeñas no linealidades de los tubos al vacío se multiplican una y otra vez; como solución a este problema, en 1927 en los laboratorios de la Bell Telephone H. S. Black propone el amplificador retroalimentado electrónico (Franklin, 2011).

Al desarrollo del amplificador retroalimentado, el control retroalimentado de procesos industriales empieza a ser la norma. En este campo, caracterizado por procesos que no solo son

muy complejos sino también no lineales y sujetos a retrasos de tiempo largos entre actuador y sensor, se desarrolla la práctica del control proporcional, más integral, más diferencial, el controlador PID descrito por Callender, Hartree y Porter (1936). Esta tecnología, basada en un amplio trabajo experimental y aproximaciones linealizadas simples al sistema dinámico, lleva a experimentos estándar apropiados para la aplicación en el campo y una satisfactoria “sintonía” de los coeficientes del controlador PID.

Conforme las plantas modernas con muchas entradas y salidas se vuelven más y más complejas, la descripción de un sistema de control moderno requiere de una gran cantidad de ecuaciones. La teoría de control clásica, que trata de los sistemas con una entrada y una salida, pierde su solidez ante sistemas con entradas y salidas múltiples. Desde alrededor de 1960, debido a que la disponibilidad de las computadoras digitales hace posible el análisis en el dominio del tiempo de sistemas complejos, la teoría de control moderna, basada en el análisis en el dominio del tiempo y la síntesis a partir de variables de estados, se logra desarrollar para enfrentar la creciente complejidad de las plantas modernas y los requerimientos limitativos respecto de la precisión, el peso y el costo en aplicaciones industriales. Ahora que las computadoras digitales son más baratas y más compactas, se usan como parte integral de los sistemas de control. Las aplicaciones recientes de la teoría de control moderna incluyen sistemas ajenos a la ingeniería, como los biológicos, biomédicos, económicos y socioeconómicos. En los años 1980, los descubrimientos en la teoría de control moderna se centran en el control robusto y temas asociados (Ogata, 2008).

La década de los 1990 introduce el concepto de sistemas de control inteligentes, donde una máquina es capaz de lograr un objetivo bajo condiciones de incertidumbre. El control inteligente se basa mucho en el campo de la inteligencia artificial. Se desarrollan las redes neurales artificiales, que se componen de elementos de cómputo simples que operan en paralelo como un intento de emular sus contrapartes biológicas. Así mismo, los controladores de lógica difusa ofrecen control robusto sin la necesidad de un modelo de la dinámica del sistema (Burns, 2001).

8.2.2. Sistemas de Automatización Industrial

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la substitución del operario en tareas físicas y mentales previo

a ser programadas. De esta definición original se desprende la definición de la automatización como la aplicación de la automática al control de procesos industriales. Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos batch (Ponsa & Granoller 2015).

La automatización implica un grado de control mecánico que se inicia, comprueba y detiene por sí mismo. Siempre que se produce una desviación de un patrón establecido y proyectado (o planificado) de antemano, la máquina corrige esta desviación o impide que continúe el proceso, realizando la comprobación o detención con la máquina sin necesidad alguna de intervención humana. El termostato de uso doméstico es un ejemplo de dispositivo automático; sin precisar atención, inicia o interrumpe el flujo de calor para mantener una temperatura determinada (Eurotherm).

Las industrias relacionadas con la automatización son la industria manufacturera y la industria de procesos. La industria manufacturera (*discrete parts manufacturing*) se caracteriza por la presencia de máquinas herramienta de control numérico por ordenador como núcleo de sistemas de fabricación flexible. En esta industria, destaca el uso de estaciones robotizadas en tareas de soldadura al arco o por puntos, pintura, montaje, etc., uno de los temas principales a resolver en este tipo de industria es la planificación y gestión de la producción: asignación de tareas a máquinas, diseño del *layout* de la planta, sistemas flexibles que fabriquen diversos productos, políticas de planificación cercanas a la optimización, etc. En cuanto a la industria de procesos (*continuous manufacturing*), existen fábricas de productos de naturaleza más o menos continua, como la industria petroquímica, cementera, de la alimentación, farmacéutica, etc. Dentro del proceso de fabricación de estas industrias, se investiga en nuevas tecnologías, para la obtención de nuevos catalizadores, bioprocesos, membranas para la separación de productos, microrreactores, etc. Es necesario la aplicación de algoritmos de control avanzado como, por ejemplo, el control predictivo, o la formación experta de operarios de salas de control mediante simuladores (Ponsa y Granoller).

Control de Procesos Industriales. Este abarca, desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (como, por

ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (feedback, feedforward, cascada, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.) (Ponsa y Granoller).

Los algoritmos de control presentes en las industrias citadas, son el control secuencial y la regulación continua. El control secuencial propone estados (operaciones a realizar para la transformación de la materia prima en producto) y transiciones (información relativa a sensores o elementos lógicos como temporizadores o contadores) en una secuencia ordenada que identifica la evolución dinámica del proceso controlado. En la regulación continua, mediante la estructura de control clásica feedback, se aborda la acción de control proporcional, la acción de control derivativo o la acción de control integral, respecto al error (diferencia entre la consigna y la medida de la variable de salida del proceso) para conseguir así una regulación adecuada de la variable (temperatura, caudal, nivel, etc.). Respecto a instrumentación de control, los tres elementos básicos capaces de llevar a cabo el control secuencial o la regulación continua dentro del control de procesos industriales es el llamado autómatas programables PLC (Ponsa y Granoller).

8.2.3. Teoría General de control automático

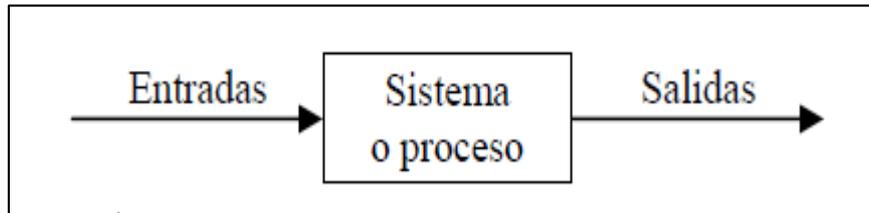
Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en la vida cotidiana para la ingeniería y la ciencia, estos sistemas dinámicos aportan una base en la solución de problemas industriales, sistemas de pilotaje de aviones y hasta un simple tostador. Controlar consiste en seleccionar, de un conjunto específico o arbitrario de elementos (o parámetros, configuraciones, funciones, etc.), aquellos que, aplicados a un sistema fijo, hagan que este se comporte de una manera predeterminada.

8.2.4. Elementos de los sistemas de control

Un sistema está desarrollado por un conjunto de elementos afines entre sí, que causan señales de salida en función de señales de entrada. Las variables que afectan un proceso se clasifican en *entradas*, que indica el efecto de los alrededores sobre el proceso, y *salidas*, que denota el efecto del proceso sobre los alrededores. Para caracterizar el sistema sólo se requiere conocer la relación que existe entre la entrada y la salida del proceso, no es necesario conocer el

funcionamiento interno o cómo actúan los diversos elementos, que es el principio conocido como de caja negra (Figura 3) (Gomáriz, Biel, Matas, Reyes & Molina, 2009).

Figura 3. Principio de caja negra.



Fuente: (Gomáriz et al, 2009)

El objeto de un sistema de control automático es mantener bajo control (de allí que se denominan variables controladas) una o más salidas del proceso. Se utiliza la palabra proceso en un sentido muy general, entendiendo que el mismo es el conjunto de fenómenos físicos que determinan la producción de las variables controladas. Desde el punto de vista matemático, el proceso quedará representado por un conjunto de relaciones fundamentales, a través de las cuales las variables controladas quedan puestas en función de dos tipos de variables independientes (Bolton, 2004):

- Variables aleatorias
- Variables manipuladas

Variabes aleatorias: las variables aleatorias son aquellas variables que escapan a cualquier control o posibilidad de manipulación, es decir, que adoptan valores que pueden variar al azar dentro de ciertos límites prácticos, constituyen perturbaciones, pues una vez obtenidos los valores deseados en las variables controladas, se tiende a apartarlas de los mismos.

Variabes manipuladas: Si al proceso ingresaran solo las variables aleatorias, no se dispondría ningún grado de control sobre el mismo y el valor de las variables controladas sería, también, aleatorio. Para poder introducir cualquier grado de control, se deberá disponer de variables sobre cuyos valores sea posible operar; de allí que se denominen variables manipuladas. Son precisas estas variables las que permiten gobernar el sistema, y su característica esencial es que pueden ser manejadas a voluntad dentro de ciertos límites. El problema de controlar el proceso consiste en eliminar los efectos de las perturbaciones producidas por la variación de las variables aleatorias, mediante la introducción de variaciones compensatorias en las variables manipuladas.

Controlador: La parte del sistema que sintetiza las variables manipuladas es el controlador, contiene el programa necesario para introducir las variaciones en las variables manipuladas, éste toma una señal de entrada y la compara con un valor establecido para obtener de forma automática una respuesta o señal de salida hacia los elementos actuadores, en otras palabras, es el “cerebro” del sistema de control (Smith y Corripio, 2017).

Control automático de dos posiciones: Este es el tipo de control también llamado control On/Off (Encendido/Apagado). En un sistema de control de dos posiciones, el elemento final de control tiene solo dos estados fijos (respuestas) que son “todo” o “nada”, sin valores intermedios. En el caso de una válvula, por ejemplo, los estados serían abiertos y cerrados. Este tipo de control al estar limitado a dos posiciones proporciona demasiada o muy poca corrección al sistema. La variable controlada debe moverse entre los dos límites requeridos y hacer que el elemento de control se mueva de una posición fija a la otra. La “oscilación” de la variable controlada entre los dos límites es una característica importante del control de dos posiciones y la cual a veces limita su utilidad. A pesar de todo, este tipo de control automático no lineal y discontinuo es utilizado en la industria, debido a que es simple y barato (Harrison; Bollinger; Johnson & Orozco, 2014).

De manera tradicional han existido dos tipos de dispositivos principales muy utilizados en los sistemas de control industrial: los PLCs (Programmable Logic Controller, Controlador Lógico Programable) y las RTUs (Remote Terminal Unit, Unidad Terminal Remota). Así mismo, equipos como los PACs (Programmable Automation Controller, Controlador Automático Programable) o los IEDs (Intelligent Electronic Device, Dispositivo Electrónico Inteligente) también son habituales en estos entornos (Instituto Nacional de Ciberseguridad de España, 2015).

- **PLC:** Es un dispositivo desarrollado para recoger los datos de los sensores y mandar respuestas a los actuadores. Su trabajo se centra a nivel de campo y una de sus características más importantes es la velocidad a la que puede realizar su ciclo de operación (lectura de variables de entrada, ejecución del programa, escritura de las variables de salida).
- **RTU:** Es un equipo con múltiples capacidades de comunicación. Su velocidad no es alta, por tanto, no es útil para el control de procesos que requieran tomar decisiones

rápidas; pero es capaz de trabajar con varios protocolos a la vez, lo que le permite comunicarse con muchos dispositivos, incluso de múltiples fabricantes, para intercambiar información entre ellos.

8.2.5. Valores de referencia

Estos valores, que pueden ser constantes o variables en el tiempo, representan el comportamiento deseado en las variables controladas, por eso se les suele denominar también valores deseados o valores de comando. Si el sistema tuviera un grado de control perfecto, los valores de las variables controladas deberían ajustarse en todo momento a los valores de referencia. En el caso del control manual, las funciones asignadas al controlador en un sistema automático los valores de referencia están presentes en las intenciones del operador, y constituyen su idea acerca de los resultados deseables del proceso. Ante la presencia de una perturbación (modificación de una variable aleatoria) el controlador debe iniciar una acción correctiva trabajando con las variables manipuladas, a fin de eliminar el efecto de la perturbación sobre las variables controladas. Para cumplir esa función, se dispone de dos técnicas distintas en su enfoque, aunque compatibles entre sí, diferenciándose en la información relativa a las variables aleatorias y a las variables controladas (Smith & Corripio, 2017).

- Precompensación
- Realimentación

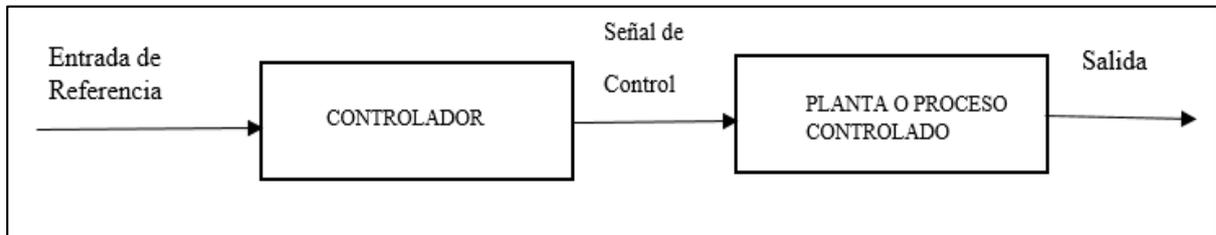
El estudio de los controles automáticos es importante debido a que proporciona una comprensión básica de todos los sistemas dinámicos, así como apreciación y utilización de las leyes fundamentales de la naturaleza. Debemos tener en cuenta que existen 2 tipos de sistemas de control en diferentes lazos de tipo abierto y cerrado.

8.2.5.1. Controles de lazo abierto y de lazo cerrado

Las dos técnicas básicas de control, es decir, el ingreso al controlador de las variables aleatorias y de las variables controladas, dan lugar, a los sistemas de lazo abierto y de lazo cerrado (Creus, 2001).

La distinción entre ambos tipos de sistemas se basa en la existencia o ausencia de un camino de realimentación mediante el cual las variables controladas ingresen al controlador; si existe este camino, el sistema será de lazo cerrado; en caso contrario; será de lazo abierto, ver Figura 4.

Figura 4. Diagrama de sistemas de lazo abierto.

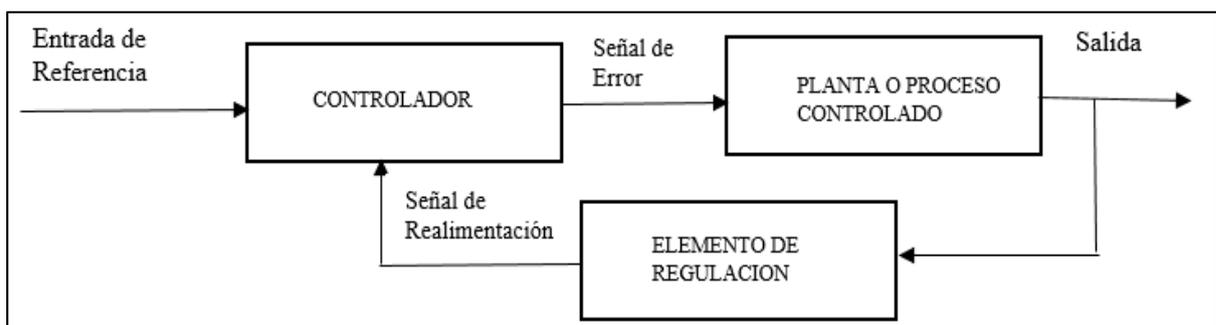


Fuente: (Creus, 2001)

Los sistemas de control de lazo abierto especifican que la salida no tiene un efecto de control, es decir que la variable de salida no se calcula ni se realimenta para confrontar con la de entrada. Para cualquier sistema de control que opere con una base de tiempo esta corresponde a un sistema de control de lazo abierto. La exactitud dependerá de la calibración del sistema, la calibración significa que deberá establecer cierta relación entre las variables de entrada y salida con la finalidad de obtener datos con cierta precisión.

El costo de este tipo de sistemas es económico, aunque tiene como desventajas la sensibilidad a las perturbaciones, de modo contrario este funcionara de forma correcta. Debido a la simplicidad y economía hace que los sistemas de lazo abierto sean confiables mismas que cumplen una función útil. En los sistemas de lazo cerrado las señales controladas deberán ser retroalimentadas para así compararlas con los valores de la entrada, misma que envía una señal actuante para disminuir los errores y corregir la salida final, ver Figura 5.

Figura 5. Diagrama de sistemas de lazo cerrado.



Fuente: (Creus, 2001)

8.2.6. Monitorización en la Industria

La función de monitoreo de procesos dentro de la industria se realiza sobre un computador, ofreciendo una visión de los parámetros de control sobre la pantalla de ordenador, lo que se denomina un HMI (Human Machine Interface), como en SCADA, pero solo ofrecen una función complementaria de monitorización: observar mediante aparatos especiales el curso de uno o varios parámetros fisiológicos o de otra naturaleza para detectar posibles anomalías. Es decir, los sistemas de automatización de interfaz gráfica tipo HMI básicos ofrecen una gestión de alarmas básica, mediante las cuales la única opción que le queda al operario es realizar una parada de emergencia, reparar o compensar la anomalía y hacer un *reset*. Los sistemas SCADA utilizan un HMI interactivo que admite divisar alarmas y a través de la pantalla remediar la dificultad por medio de las acciones apropiadas en tiempo real. Esto les otorga una gran flexibilidad. En definitiva, el modo supervisor del HMI de un SCADA no solo señala los problemas, sino que, lo más importante, orienta en cuanto a los procedimientos para solucionarlos (Pérez, 2015).

El seguimiento del proceso y de la evolución de forma continua del producto son los que permitirán alertar del buen o mal funcionamiento a la vez establecer criterios de ajuste y cambio dentro del proceso. Se entiende como monitorización a la automatización de este proceso de vigilancia dotando al operario de los mecanismos necesarios para su alerta, así como la interacción amigable con el proceso y el registro de su evolución. Su propósito es facilitar la detección de situaciones anómalas y su diagnóstico a través de un seguimiento continuo de las variables del proceso. Etapas de la monitorización (Colomer; Meléndez & Ayza, 2016).

Adquisición y registro de Datos: La evolución de los ordenadores hacia sistemas más abiertos y modulares a base de expansiones de bus y tarjetas funcionales que permite el acceso a representaciones eléctricas de las magnitudes de proceso ha propiciado la interconectividad del proceso con los sistemas de monitorización. Los autómatas programables (PLC, Programmable Logic Computer), los sistemas distribuidos de control (DCS, Distributed Control System) y los ordenadores industriales (IPC, Industrial Personal Computer) han irrumpido en el control de procesos no solo como elementos de control, sino como verdaderos interfaces de acceso al proceso. Junto a ellos las comunicaciones industriales han evolucionado para facilitar la su interconexión a la vez que sensores y actuadores han evolucionado para su conexión directa (Colomer, 2016).

Representación del Proceso: La representación del proceso es una etapa básica de la monitorización. La identificación inmediata de los elementos del proceso con una representación gráfica de estos es importante para lograr los objetivos de la monitorización. La representación visual de información y su interactividad es lo que se conoce como Interface Gráfico de Operador o Interface Máquina Hombre (HMI o MMI). Los paquetes SCADA actuales incorporan estas facilidades a través de ventanas en que se representa el proceso o parte de este. La navegación por estas pantallas se hace a través de menús desplegables y botones activados por el cursor gráfico asociado a un ratón, teclado o interfaz similar (Colomer, 2016).

Alarmas: Las desviaciones en la magnitud de una variable superior a unos límites específicos, son concebidas en los sistemas de monitorización como alarmas. Su objetivo es poner al operario sobre aviso. De esta forma, una vez generada una alarma se fecha, visualiza y registra, la automatización de la tarea de vigilancia del proceso se logra en los entornos de monitorización mediante estas alarmas usadas para detectar situaciones de comportamiento anómalo para su análisis posterior, estas se registran con los instantes en los que se han producido. Una clasificación simple de los diferentes tipos de alarmas se obtiene de considerar las variables (Colomer, 2016).

Las alarmas discretas son indicadores de un cambio binario en el estado de la variable que representan. Una variable discreta puede ser utilizada para definir el estado de un sistema (paro/marcha, manual/automático), la presencia o ausencia de material, un fin de carrera, la detección de paso, etc. Esta información es de gran utilidad para la secuenciación de tareas en el desarrollo de sistemas de automatización. Pero a su vez puede alertar al operario, en caso de ser necesario, utilizando para ello las señales directas del sensor tipo todo/nada u otros de propósito específico (Colomer, *et al*, 2016).

En caso de las variables continuas se utilizan umbrales numéricos para designar los límites de operación normal de dicha variable. Su elección se hará de acuerdo con el significado físico de la variable y los límites permitidos para el funcionamiento correcto del proceso. Los sistemas de monitorización actuales incorporan diferentes formas de definir los umbrales de operación. Es habitual dichos umbrales como un porcentaje respecto a un valor y especificar diferentes límites para el cruce de umbral ascendente (situación de alarma) o descendente (restablecimiento de la situación normal) en forma de banda muerta (Colomer, *et al*, 2016).

8.2.7. Interfaz Hombre-Máquina (HMI)

La interfaz Hombre-Máquina parte de un sistema interactivo (software y hardware) que suministra la información y reconoce el control preciso para que el usuario lleve a cabo una tarea de dicho método. Sigla HMI. Estos sistemas radicaban en paneles combinados por indicadores y comandos, tales como luces, indicadores digitales y análogos, registradores, pulsadores, selectores y otros que se interconectaban con la máquina. En la actualidad, dado que las máquinas y procesos en general están implementadas con controladores y otros dispositivos electrónicos que dejan disponibles puertas de comunicación, es posible contar con sistemas de HMI bastantes más poderosos y eficaces, además de permitir una conexión más sencilla y económica con el proceso o máquinas, como mostraremos a continuación (Cobo, 2019).

8.2.7.1. Tipos de HMI

Descontando el método tradicional, podemos distinguir dos tipos de HMIs: (Cobo, 2019).

- **PC + Software:** esto constituye otra alternativa basada en un PC en donde se carga un software apropiado para la aplicación. Como PC se puede utilizar cualquiera según lo exija el proyecto, en donde existen los llamados Industriales (para ambientes agresivos), los de panel (Panel PC) que se instalan en gabinetes dando una apariencia de terminal de operador, y en general veremos muchas formas de hacer un PC, pasando por el tradicional PC de escritorio. Respecto a los softwares a instalar en el PC de modo de cumplir la función de HMI hablamos a continuación.
- **Software HMI:** Estos softwares permiten entre otras cosas las siguientes funciones: Interfase gráfica de modo de poder ver el proceso e interactuar con él, registro en tiempo real e histórico de datos, manejo de alarmas. Si bien es cierto sólo con la primera función enunciada es la propia HMI, casi todos los proveedores incluyen las otras dos ya sea en el mismo paquete o bien como opcionales. También es normal que dispongan de muchas más herramientas. Al igual que en los terminales de operador, se requiere de una herramienta de diseño o desarrollo, la cual se usa para configurar la aplicación deseada, y luego debe quedar corriendo en el PC un software de ejecución (Run Time). Por otro lado, este software puede comunicarse con los dispositivos externos (proceso)

o bien hacerlo a través de un software especializado en la comunicación, cual es la tendencia actual.

- **Comunicación:** La comunicación con los dispositivos de las máquinas o proceso se realiza mediante comunicación de datos empleando las puertas disponibles para ello, tanto en los dispositivos como en los PCs. Para la comunicación se usa un software denominado servidor de comunicaciones, el que se encarga de establecer el enlace entre los dispositivos y el software de aplicación (HMI u otros) los cuales son sus clientes. La técnica estandarizada en estos momentos para esto se llama OPC (Ole for Process Control), por lo que contamos entonces con Servidores y Clientes OPC, sin embargo, aún quedan algunas instalaciones donde se usaba DDE (Dynamic Data Exchange) para este propósito, como también muchos softwares de aplicación sólo son clientes DDE por lo que lo usual es que los servidores sean OPC y DDE (Cobo, 2019).

8.2.8. Medición de flujo

El flujo es una de las variables de causa más medidas, por ello se han desarrollado sinnúmero tipos de sensores de flujo (Smith & Corripio, 1997). El flujo se refiere a la tasa de movimiento de una sustancia, que puede ser líquida, gaseosa o sólida como granos o arcillas secas. En la mayoría el flujo se convierte a una variable intermedia como la presión o el desplazamiento (Johnson, 2014).

Un sensor muy frecuente para calcular el flujo de fluidos dentro de una tubería es el contador de orificio, el cual consiste en un disco liso con un agujero maquinado; el disco se inserta en la línea de proceso perpendicular al flujo con la intención de producir una caída de presión. Esta caída de presión es una función no-lineal del flujo volumétrico a través del orificio. La caída de presión a través del orificio se mide utilizando un medidor de presión diferencial y el flujo volumétrico se relaciona con la raíz cuadrada de ésta. Existen unidades de extracción de raíz cuadrada para que la señal de salida del transmisor sea lineal respecto al flujo volumétrico (Smith & Corripio, 2017).

Otro tipo de sensor común es el medidor magnético de flujo. El principio de operación de éste es la ley de Faraday; esto es, conforme un material conductor (un fluido) se mueve en ángulos rectos a través de un campo magnético, éste induce un voltaje. El voltaje creado es proporcional a la intensidad del campo magnético y a la velocidad del fluido. Si la intensidad del campo

magnético es constante, el voltaje será proporcional a la velocidad del fluido. Es más, la velocidad medida es la velocidad promedio, por lo que puede utilizarse tanto para regímenes de flujo laminar como turbulento. Debido a que el medidor magnético no produce una caída de presión es apropiado para medir flujo por gravedad, flujo de suspensiones y flujo de fluidos cercanos a su presión de vapor. La principal desventaja es que el fluido debe tener una conductividad mínima, lo que lo hace inapropiado para la medición de gases e hidrocarburos (Smith & Corripio, 2017).

Un medidor de flujo importante es el medidor de turbina. Este medidor es uno de los medidores de flujo más precisos disponibles de manera comercial. El principio de operación consiste en un rotor que gira de acuerdo a la velocidad del fluido. La rotación de las paletas es detectada por un captador magnético que emite pulsos de frecuencia los cuales son proporcionales a la razón de flujo volumétrico. Los problemas más comunes de este medidor se asocian a las chumaceras, que requieren fluidos limpios y con ciertas propiedades lubricantes (Smith y Corripio, 1997).

8.2.9. Medición de nivel

La medida de nivel se refiere a la profundidad de un material sólido o líquido dentro de un contenedor. Muchos sensores realizan estas mediciones, pero la mayoría dependen de la conversión del nivel en otra variable como el desplazamiento o la presión, que se mide con algún otro sensor (Johnson, 2014).

Según (Smith & Corripio, 2017) los tres sensores de nivel de líquido más importantes son los de presión diferencial, los de flotador y los de burbujas. Los sensores de nivel de *presión diferencial* miden la diferencia de presión entre el fondo y la superficie, causada por la cabeza hidrostática del líquido, conociendo su densidad es fácil obtener el nivel. Los *sensores flotadores* son los más económicos, estos detectan el cambio en la fuerza boyante de un cuerpo inmerso en un líquido siendo esta fuerza proporcional al nivel del mismo, pero su ámbito de medición es limitado.

Los *sensores de burbujas* son otro tipo de sensores de presión hidrostática, consisten en una tubería de aire o gas inerte sumergida en el líquido, donde se regula el flujo para producir una

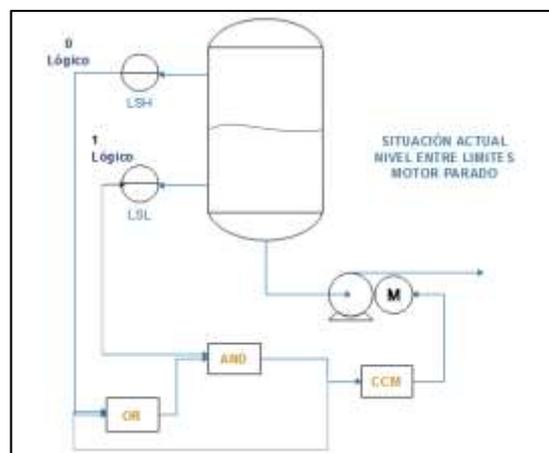
corriente continua de burbujas, la presión requerida es entonces una medida de la cabeza hidrostática.

8.2.9.1. Tipos de Control de Nivel

Debido a las diferentes características del proceso donde se tiene que efectuar control de nivel, esto puede llevarse a cabo de las siguientes maneras: (Acedo, 2013).

- **Entre Límites alto y bajo:** este sistema de control es válido cuando el nivel puede oscilar entre ambos límites sin afectar al proceso. Se conoce como ON- OFF control y utiliza como elementos detectores de nivel dos levostatos situados en los límites superior e inferior del rango de nivel a controlar.
- **Nivel Medio:** se usa cuando del recipiente sobre el cual se efectúa control de nivel puede absorber perturbaciones y, de esta forma, evitar que se trasladen aguas abajo del proceso. Se suelen conocer como averaging control y se lleva a cabo sintonizando el controlador de nivel con ganancia proporcional baja y tiempo integral alto.
- **Nivel Ajustado:** se usa cuando la capacidad del recipiente es pequeña para el caudal de entrada y salida. En otras palabras, cuando el tiempo de residencia del producto en el recipiente es pequeño. Se suele conocer como tight control y se lleva a cabo sintonizando el controlador de nivel con ganancia alta y tiempo integral bajo.

Figura 6. Control de nivel alto y bajo



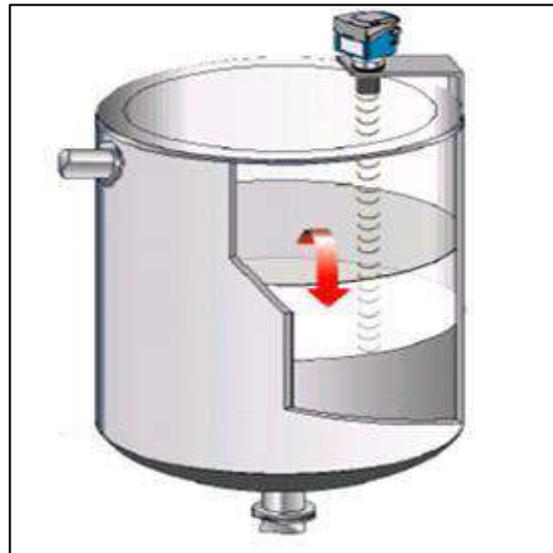
Fuente: (Acedo, 2013)

En la Figura 6 se muestra un sistema de control entre límites (ON-OFF) para desalojar el líquido que se va acumulando en un recipiente, partiendo de la situación actual, descrita en la propia figura, cuando se alcance el nivel alto se cerrará el contacto LSH, pasando al nivel lógico 1, que junto con el otro de la puerta AND pone la bomba en marcha, La cual permanecerá marchando, retenida por la puerta OR, hasta que se alcance el nivel bajo detectado por el LSL. Pasando este a nivel 0 lógico. Ambas maniobras envían señal al centro control de motores (CCM), desde donde se envía la corriente eléctrica a la bomba (Acedo, 2013).

8.2.9.1.1 Medición de niveles por ultrasonido

Este método permite emitir por un sensor una medición del tiempo de retorno de pulso de sonido. Donde este pulso ultrasónico que se emite, se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor permite que se vuelva a detectar. Se define como una medida indirecta de la altura de la sección vacía del tanque, el tiempo de retorno de la señal. Para ello, se afirma que, si a esta distancia se le resta la altura total del tanque, se logra obtener el nivel del producto. Para convertir el tiempo de retorno en una señal de salida analógica, tal y como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7. Medición de nivel por ultrasonido.



Fuente: (Creus, 2017)

8.2.10. Hardware Libre

Hardware Libre (HL) es una materialización particular del conocimiento libre en el área de hardware. En otras palabras, se podrá considerar que un hardware es libre, cuando el conocimiento asociado al mismo es de acceso público, es decir, que el autor o los autores están de acuerdo en facilitar el acceso al conocimiento generado en torno al desarrollo a través de distintos medios (impresos, digitales, entre otros) (Medrano & Chourio, 2017). Es un hardware cuyo diseño se pone a disposición del público de modo que cualquiera logra distribuir, hacer y vender el diseño o el hardware que se sostenga en dicho boceto. Diseño a partir del cual se construye en el formato que se prefiera para que se hagan modificaciones en el hardware libre utiliza elementos y materiales disponibles, procesos estandarizados, infraestructura abierta, contenido no restringido y herramientas de diseño libres. El hardware libre brinda a los individuos la libertad de controlar su tecnología mientras comparten el conocimiento y alientan el comercio a través del intercambio abierto de diseños (Lazalde; Torres & Vila, 2015).

Hardware Abierto los principios que definen el carácter abierto de un hardware fueron establecidos por la organización OSHWA (Open Source Hardware Association) con la finalidad de definir un marco básico de trabajo, de manera resumida los siguientes (Medrano & Chourio, 2017):

- **Documentación:** El hardware debe ser puesto en libertad con su documentación completa y debe permitir la modificación.
- **Alcance:** La documentación debe especificar qué parte del diseño se publica bajo la licencia.
- **Software necesario:** Si el diseño requiere de licencia de software, este debe cumplir unos parámetros de documentación suficiente y ser publicada bajo una licencia de código abierto aprobada por OSI.
- **Obras derivadas:** La licencia debe permitir modificaciones y trabajos derivados, así como la fabricación, venta, distribución y uso de productos creados a partir de los archivos de diseño.
- **Redistribución libre:** La licencia no debe restringir a un tercero el vender o entregar la documentación del proyecto. No puede ejercerse ningún derecho sobre obras derivadas tampoco.

- **Atribución:** La licencia puede requerir documentos derivados y avisos de copyright asociados a los dispositivos. Asimismo, debe hacer mención al diseñador.
- **No discriminatoria:** La licencia no debe discriminar a ningún grupo o persona.
- **No discriminación en función de la finalidad perseguida:** La licencia no debe restringir a ningún campo o actividad el uso de la obra.
- **Distribución de la licencia:** La licencia se da por distribuida sin necesidad de ir solicitando permisos adicionales.
- **La licencia no debe ser específica de un producto:** Los derechos de productos derivados hacen extensiva esta licencia.
- **La licencia no debe restringir otro hardware o software:** No se ponen objeciones a la naturaleza de lo que pueda implementarse a esta tecnología de forma externa o añadida.
- **La licencia debe ser neutral:** Ninguna disposición de la misma debe basarse en una tecnología específica, parte o componente, material o interfaz para su uso.

También hay algunos proyectos de HL que utilizan las licencias de software libre (Lazalde, 2015):

- **Opencores:** Esta comunidad de hardware libre utiliza las licencias LGPL y licencias BSD modificadas para distribuir sus diseños y productos. Esta comunidad cuenta con más de 200,000 usuarios registrados al día de hoy.
- **FreeCores:** Esta es una comunidad derivada de Opencores que utiliza licencias GPL y Apache.
- **La Open Hardware Foundation:** Promueve la licencia copyleft (originaria del software libre) y otras licencias permisivas en la creación de hardware.
- **Raspberry Pi:** Computadora incrustada sobre una placa de hardware reducida que utiliza la licencia BSD para distribuir diferentes partes del diseño.
- **Arduino:** Placa de hardware diseñada para crear prototipos electrónicos y uno de los ejemplos más relevantes del HL. Arduino utiliza la licencia Creative Commons para distribuir y compartir su diseño. La licencia Creative Commons comprenden un conjunto de licencias publicadas desde 2002 por un equipo dirigido por el abogado Lawrence Lessig. Su uso abarca cualquier producto creativo o cultural, desde películas

hasta libros y sitios web. En particular, Arduino utiliza la versión Creative Commons Share Alike (para “compartir de la misma manera” los trabajos derivados).

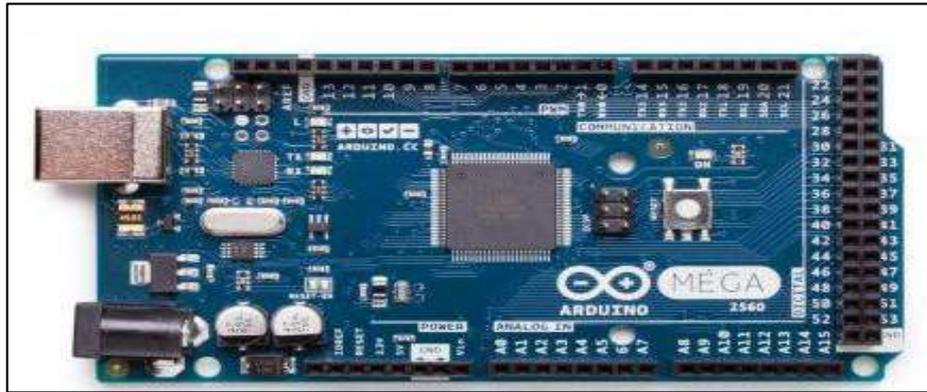
8.2.11. Arduino Mega

En la Figura 8, se muestra un Arduino Mega 2560 es un producto popular entre las tarjetas Arduino. Se puede alimentar a través del puerto USB cuando se conecta al ordenador o a través de la toma de alimentación con el puerto Jack o la entrada de alimentación, es recomendable utilizar una alimentación de entre 7V y 12V de corriente continua para alimentar la tarjeta. Arduino Mega 2560, tiene como Arduino uno, una entrada de alimentación (VIN), un conector 5V, un conector 3,3V y tomas de tierra (Goilav & Loi, 2016).

Los conectores de entrada y salida de la tarjeta Arduino Mega 2560 se pueden describir en dos partes. Los 54 conectores de entrada y salida digital se utilizan como su nombre indica, en modo entrada o salida, utilizando las funciones pin Mode, Digital Read y/o Digital Write. Entre estos 54 conectores, varios tienen funciones extendidas (Goilav y Loi, 2016):

- Conectores acoplados de unión en serie: 0(RX) y 1(TX); 19(RX) y 18(TX); 17(RX) y 16(TX); 15(RX) y 14(TX). Estos conectores son particulares porque su función se puede extender a una entrada en serie (RX) y una salida en serie (TX).
- Conectores interruptores: 2 (interruptor 0), 3(interruptor 1), 18 (interruptor 5), 19 (interruptor 4), 20 (interruptor 3), y 21 (interruptor 2). Estos conectores pueden jugar el papel de interruptor en diferentes componentes, utilizando la función attachInterrupt ().
- Conectores PWM: de 2 a 13 y de 44 a 46. Estos conectores se utilizan como salidas PWM, utilizando la función analogWrite().
- Conectores SPI: 50(MISO), 51(MOSI), 52(SCK) y 53 (SS). Estos conectores se pueden utilizar para gestionar una comunicación SPI.
- Conector Led-13: en la tarjeta Arduino Mega, existe un led controlable a través del conector 13, utilizando los valores HIGH para encender y LOW para apagar el Led.
- Conectores TWI: 20 (SDA), y 21 (SCL): administración de la comunicación I²C.

Figura 8: Arduino Mega 2560.



Fuente: (Goilav & Loi, 2016)

9. PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS:

¿Cuál es la mejor opción que permita la Implementación de un sistema de nivel biestable y medición de caudal, para tanques elevados en tiempo real para el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná?

Dentro de las posibilidades que existen para la implementación de un prototipo de un sistema de nivel biestable y medición de caudal, que permita el monitoreo de llenado y consumo en tiempo real en tanques elevados para el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná se encontraban diferentes opciones, conociendo esto se planteó una solución al problema con el diseño del sistema de control del prototipo tomando en consideración los requerimientos del Arduino Mega 2560, el cual posee las características técnicas y físicas adecuadas fueron de gran utilidad en el diseño e implementación del proyecto

De igual manera existía una variedad de sensores pero conociendo los rasgos a utilizarse se planteó como solución un sensor YF-S201 ya que posee facilidades en el manejo, es acondicionable, cumpliendo con nuestro objetivo.

10. METODOLOGÍAS:

10.1. Tipo de investigación

Para el desarrollo del proyecto se emplearon métodos científicos de investigación. El uso de estos métodos permitió entender de manera sistémica y organizada el problema que se abordaba y así obtener resultados satisfactorios para darle cumplimiento al objetivo de la investigación. Dentro de los métodos teóricos se utilizaron el analítico-sintético y la modelación.

En la etapa de recolección de información se usó el método analítico-sintético que permitió sintetizar criterios con el fin de arribar a conclusiones acerca de la problemática. También en esta etapa se describió la estación física del prototipo del sistema para el laboratorio de electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

El método científico modelación permitió realizar la modelación del sistema a construir. En el diseño del sistema de control del prototipo se tomó en consideración los requerimientos del Arduino Mega 2560. También se utilizaron dos tipos de investigación la aplicada y la experimental; al ser un tema teórico práctico la investigación aplicada y experimental fueron una buena metodología para la realización del mismo. Se aplicaron los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera de Electromecánica que permitieron la realización del sistema de control de nivel y medición de caudal utilizando el sistema de control biestable de la planta el Arduino Mega 2560 que es el cerebro del prototipo y el encargado de gestionar todos los sensores a través de las entradas digitales.

El estudio experimental se lo llevó a cabo durante el control y medición de las variables de nivel y caudal, debido a que se realizó la calibración del sistema. Se diseñó un sistema de control de nivel biestable en base a los planos esquemáticos desarrollados en el software Proteus que fue un sistema completo de diseño electrónico que combina un avanzado programa de captura de esquemas, un sistema de simulación mixto (analógico y digital) basado en SPICE. La planta dispone pulsadores, sensores e interruptores (entradas digitales) además de varios actuadores para de esta manera utilizar las salidas.

10.2. Diseño metodológico

El presente trabajo se orientó hacia un estudio de tipo descriptivo. Cada una de las fases presentó una relación clara y concisa para el desarrollo general. La base fundamental del proceso se encontró dirigida hacia la recopilación de la información descrita como la inclusión de todas las temáticas de control, automatización que fueron relacionados con la definición del modelo y la descripción de componentes, se desplegaron en su respectiva aplicación para lograr la implementación final del sistema didáctico para el control de nivel con tanques.

10.2.1. Exploración y compilación de información.

Se realizó la búsqueda y recopilación de información posible, la cual se divide en las siguientes partes:

- Búsqueda de información necesaria para la realización del diseño de un sistema didáctico de tanques acoplados para el control de caudal y nivel
- Se determinó el respectivo protocolo de comunicación del sistema para el control y manejo de las variables involucradas en el proceso.

10.2.2. Planificación.

Se estudiaron todos los factores que afectaron al proyecto y se realizó la planeación respectiva:

- **Factores técnicos:** Se determinaron las herramientas y materiales de trabajo necesarios para la implementación del sistema.

10.2.3. Construcción y ejecución.

Se establecieron las funciones y roles de cada uno de los integrantes del proyecto de grado para su posterior ejecución. Se desarrollaron todos los diseños planteados (mecánicos, eléctricos) mediante técnicas de fabricación adecuadas y se realizó la manipulación de todos los recursos y materia prima disponible para su construcción.

10.2.4. Seguimiento y evaluación.

Después de la implementación, se incluyeron todas las actividades de seguimiento y pruebas que fueron sometidas a un análisis continuo sobre la ejecución del proyecto en todos sus aspectos, vigilando que se ajustara a lo planificado y realizando las modificaciones necesarias para dar cumplimiento de los objetivos planteados.

11. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

11.1. Diseño de la planta didáctica

11.1.1. Diseño del prototipo de control de nivel biestable y caudal en tiempo real

El control de nivel y flujo de líquido en tanques es un problema común en los procesos industriales y en la vida cotidiana. En la actualidad es necesario la automatización de estos procesos; es frecuente en los edificios altos colocar un tanque elevado con el propósito de tener autonomía ante cualquier imprevisto en el servicio y contribuir al abastecimiento y consumo adecuado del agua.

Etapa de recolección de información

El diseño de este prototipo se compone de dos tanques comunicados entre sí por tuberías, un tanque de control en el que se va a medir las variables físicas de nivel y caudal y un segundo tanque de reserva desde el cual se suministra el líquido. Debe tener una bomba periférica instalada que es la encargada de trasladar el líquido hacia el tanque de control.

Para realizar la medición de nivel del líquido en el tanque de control se propuso utilizar un sensor ultrasónico colocado en la parte superior del tanque, además de un caudalímetro instalado en la tubería de salida y una válvula de compuerta manual que regula el caudal en la tubería.

En la realización del diseño del sistema de control biestable de la planta el Arduino Mega 2560 será el cerebro del prototipo y el encargado de gestionar todos los sensores a través de las entradas digitales. El objeto de un sistema de control automático es mantener bajo control una o más salidas del proceso. Se utiliza la palabra proceso en un sentido muy general, entendiendo

que el mismo es el conjunto de fenómenos físicos que determinan la producción de las variables controladas.

Se tomaron en consideración algunos conceptos y estrategias de control citados, para controlar un proceso con el objetivo de alcanzar un mejor diseño del prototipo. Los elementos principales de un lazo de control son el elemento de medición (sensor/transmisor), el elemento de decisión (controlador) y el elemento de acción (actuador/elemento final). Todo lazo de control debe contar con estos tres elementos para poder llevar a cabo la función de control. Un sistema bien diseñado realiza la función de control con mayor velocidad y precisión que el ser humano.

Para el sistema de control de nivel biestable en el tanque se planteó un sistema retroalimentado, la variable controlada se mide por un sensor, se transmite hacia el controlador, y se compara con el valor de referencia o punto de consigna, la diferencia entre ambas variables, conocida como el error, se utiliza para modificar la variable manipulada (Apagado o Encendido de la Bomba), este proceso se repite de forma continua. En otras palabras, la entrada del controlador es afectada por la salida del proceso; es decir, la información se retroalimenta para influir en la variable controlada.

Para la medición de caudal se utilizó un sensor, éste envía pulsos eléctricos a un módulo Arduino, en el cual se desarrolló un programa para realizar el respectivo acondicionamiento de la señal de entrada a una salida de voltaje estandarizada en función del caudal medido. En base a los diagramas esquemáticos desarrollados se construyó la planta de control de nivel biestable y medición de caudal. El sistema permite manejar el llenado y vaciado de dos tanques a través de una bomba colocada en la tubería en función del nivel del líquido medido a través del sensor, además se diseñó una interfaz Humano-Máquina (HMI) la cual permite el monitoreo y control eficiente del sistema de nivel y medición de caudal.

Una vez desarrollado el algoritmo de control y la interfaz Humano-Máquina HMI, se realizó el montaje y comunicación para su posterior etapa de pruebas de funcionamiento. Para comprobar el funcionamiento del sistema de control se activaron las salidas y se realizaron pruebas de comunicación. Además, se tomaron medidas de nivel y caudal para comprobar los circuitos de acondicionamiento de los sensores los cuales proveen valores de voltaje normalizados. Se comprobó el correcto accionamiento de los distintos actuadores para validar la acción de control

biestable. Para finalizar se realizó un manual de usuario del sistema resaltando las principales características, el cual permite una operación correcta y óptima del mismo.

Bomba DC-12V

El tanque reservorio debe poseer una bomba, que extrae líquido desde el tanque reservorio a través de una manguera y lo lleva hasta al tanque de control, la Bomba utilizada es la periférica DC-12V que es la encargada de trasladar el líquido hacia el tanque de control, está colocada en la tubería en función del nivel del líquido medido a través del sensor permitiendo manejar el llenado y vaciado de los dos tanques.

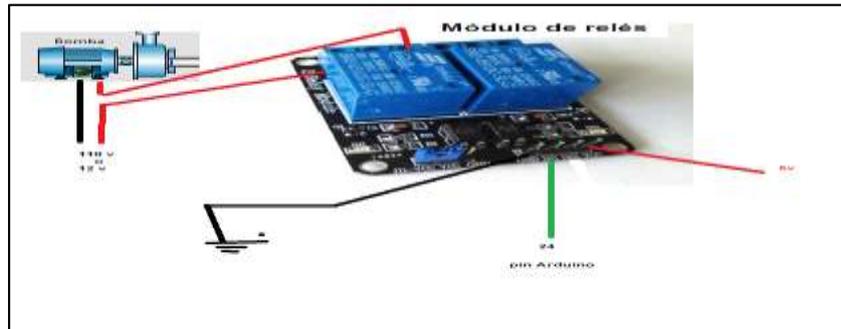
El controlador de la bomba implementado es el ON/OFF que tiene como objetivo controlar el encendido y apagado de la bomba encargada del suministro de agua para el llenado del tanque.

Para el encendido y apagado de la bomba, el controlador ON/OFF funciona a partir de parámetros (setpoint de máximo nivel y mínimo nivel) establecidos por el usuario, estos parámetros pueden ser configurados por el teclado matricial que se le va a incorporar al sistema y deben ser visualizados en un display o en una computadora.

El sistema cuenta con dos modos de operación (manual y automático). Para cambiar de un modo a otro se hace presionando la tecla "A". En el modo manual para encenderla se hace presionando la tecla "#" y la tecla "*" para apagarla. En el modo automático la bomba se enciende y se apaga según los parámetros configurados de *setpoint* máximo nivel y mínimo nivel. Para visualizar por 5 segundos estos parámetros se realiza presionando la tecla 1. El primer valor que aparece es la altura máxima del tanque, luego Setpoint máximo y mínimo. Se muestra en el *display* un símbolo el cual significa que la bomba está encendida tanto en el modo automático como manual.

El HMI consta con una parte de visualización de todos los datos del prototipo. Esta se compone, dos tanques (reserva y control), bomba de agua, tuberías e indicadores para visualizar los parámetros de configuración. El tanque de reserva si esta de color azul indica que tiene agua (si está de color rojo indica que no tiene agua y el sistema muestra en el display un mensaje y no se puede encender la bomba) y el tanque de control va a mostrar el porcentaje de llenado. Si la bomba está encendida se muestra en color rojo y las tuberías muestran un color azul. En el caso de los indicadores visualizan todos los parámetros configurados.

Figura 9: Bomba DC-12V



Etapa de Instrumentación y control

Esta segunda etapa del diseño del prototipo se va a encargar de la adecuación y adquisición de las variables del proceso, el control de nivel de agua en el tanque y la comunicación bidireccional con la etapa de visualización y toma de datos. Lo primero que se busca es obtener la magnitud de la variable del proceso suministrada por el sensor ultrasónico de nivel, adecuación de la señal para obtener niveles de tensión adecuados para su futura adquisición. Luego que los datos son adquiridos se procesan obteniendo el valor real del nivel de agua en el tanque para ser transmitidos a un *display* visualizador y a un ordenador para su visualización en una interfaz gráfica.

Durante la etapa de instrumentación del proceso se busca seleccionar el sensor que mejor se ajuste a los requerimientos del medio, una vez realizada la selección del sensor que se va a utilizar, en este caso el sensor ultrasónico HC-SR04, se procede a realizar el acondicionamiento electrónico necesario para obtener los niveles de tensión adecuados en la entrada del Arduino Mega 2560, logrando con ello una adecuada adquisición de datos para su futuro procesamiento.

El sensor de flujo o caudalímetro que va a ser usado para medir el flujo de agua es el YF-S201. Este sensor es ideal para su uso en sistemas de conservación de agua, tanques de almacenamiento, aplicaciones domésticas de reciclaje de agua, sistemas de riego y mucho más. La salida se puede conectar a un microcontrolador para el control de consumo de agua y el cálculo de la cantidad de agua que queda en un tanque, etc. Puede ser empleado con otros líquidos de baja viscosidad, como: bebidas gasificadas, bebidas alcohólicas, combustible, entre otros.

Según el diseño del prototipo el controlador que se va a implementar es ON/OFF que tiene como objetivo controlar el encendido y apagado de la bomba encargada del suministro de agua para el llenado del tanque.

Para el encendido y apagado de la bomba, el controlador ON/OFF funciona a partir de parámetros (*setpoint* de máximo nivel y mínimo nivel) establecidos por el usuario, estos parámetros pueden ser configurados por el teclado matricial que se le va a incorporar al sistema y deben ser visualizados en un *display* o en una computadora.

Etapas de visualización y toma de datos

Tiene como objetivo principal el establecimiento de la comunicación bidireccional con la etapa de instrumentación y control, la visualización en tiempo real del estado o nivel de agua almacenado en el tanque, así como permitir la entrada de datos.

11.2. Programación y Simulación del prototipo

La plataforma Arduino se programa mediante el uso de un lenguaje propio basado en la popular programación de alto nivel. El entorno es un código abierto y libre, en la cual se hace fácil escribirlo y cargarlo a la placa E/S; funciona con los sistemas operativos de Windows, Mac OS X y Linux. Sin embargo, es posible utilizar otros lenguajes de programación y aplicaciones populares en Arduino, el cual está basado en el lenguaje de programación C y soporta todas las funciones del estándar C y algunas de C++. Esta plataforma puede comunicarse con el software que se ejecuta en un ordenador, por ejemplo, Flash, Processing, MaxMPS, Labview. Los diseños de referencia de hardware están disponibles bajo una licencia de código abierto, siendo libre de adaptarlos a sus necesidades.

Como se menciona el Arduino Mega 2560 será el cerebro del prototipo y el encargado de gestionar todos los sensores a través de las entradas digitales. En la programación reside su potencia. A continuación, se implementan y explican algunas partes del código para poder configurar parámetros, medir, controlar y visualizar el nivel en el tanque y el caudal de salida. Para el desarrollo de la programación se usa el software oficial de Arduino en su versión 1.8.9.

En la construcción del prototipo se cuenta con los siguientes componentes: sensor ultrasónico (HC-SR04), sensor de Caudal (YF-S201), Teclado Matricial 4x4 de Arduino, *display* LCD de

16×2. En la figura 9 se muestra lo primero que se realiza, en este caso la configuración de librerías para usar estos componentes de una forma más fácil.

Figura 10. Librerías usadas en la programación de Prototipo.



```

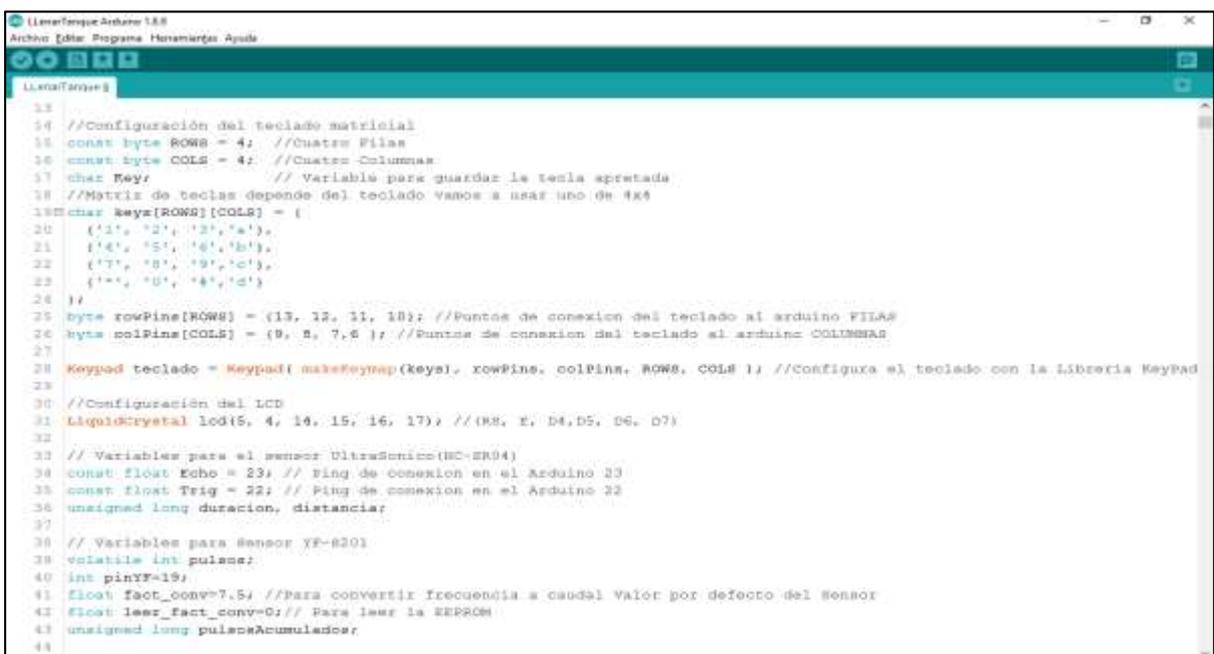
1 //
2 //
3 //Librerías--Usadas
4 #include <Keypad.h> // Librería para manejar el Teclado Matricial
5 #include <EEPROM.h> // Librería para guardar información en la EEPROM del Arduino
6 #include <LiquidCrystal.h> // Librería para manejo del Display LCD
7 #include <TimerOne.h> // Librería para usar un Timer
8
9
10
11
12
13

```

La Figura 10 muestra la configuración del teclado matricial donde se define el número de filas y columnas del teclado y una variable para guardar la tecla presionada. Además, un arreglo bidimensional (matriz) con la disposición de las teclas y dos arreglos con la configuración de pines de conexión con el Arduino y la configuración de la librería Kypad.

En esta misma figura se muestra la configuración de la librería LiquidCrystal la conexión de los pines del *display* LCD con el Arduino. De igual forma se realiza la declaración de variables de conexión y variables para guardar la información de los sensores ultrasónico (HC-SR04) y caudalímetro (YF-S201).

Figura 11. Configuración de los componentes.



```

14
15 //Configuración del teclado matricial
16 const byte ROWS = 4; //Cuatro Filas
17 const byte COLS = 4; //Cuatro Columnas
18 char keys; // Variable para guardar la tecla apretada
19 //Matriz de teclas depende del teclado vamos a usar uno 4x4
20 char keys[ROWS][COLS] = {
21   {'1', '2', '3', 'a'},
22   {'4', '5', '6', 'b'},
23   {'7', '8', '9', 'c'},
24   {'*', '0', '#', 'd'}
25 };
26
27 byte rowPins[ROWS] = {13, 12, 11, 10}; //Pines de conexión del teclado al arduino FILAS
28 byte colPins[COLS] = {9, 8, 7, 6}; //Pines de conexión del teclado al arduino COLUMNAS
29
30 Keypad teclado = Keypad( makeKeymap(keys), rowPins, colPins, ROWS, COLS ); //Configura el teclado con la Librería Keypad
31
32 //Configuración del LCD
33 LiquidCrystal lcd(5, 4, 14, 15, 16, 17); //RS, E, D4,D5, D6, D7
34
35 // Variables para el sensor Ultrasonico(HC-SR04)
36 const float Echo = 23; // Pin de conexión en el Arduino 23
37 const float Trig = 22; // Pin de conexión en el Arduino 22
38 unsigned long duracion, distancia;
39
40 // Variables para sensor YF-S201
41 volatile int pulsera;
42 int pinYF=19;
43 float fact_conv=7.5; //Para convertir frecuencia a caudal Valor por defecto del sensor
44 float leer_fact_conv=0; // Para leer la EEPROM
45 unsigned long pulseraAcumulador;
46
47

```

Para la programación del sensor ultrasónico (HC-SR04) se tuvo en cuenta que en todos los sistemas electrónicos se genera un ruido debido al movimiento de los electrones, al propio sensor o la placa de Arduino. Esto se traduce en una variación o fluctuación en las medidas que se va obteniendo a través del sensor. Para eliminar este tipo de ruido se aplica una técnica de filtro paso bajo que elimina las frecuencias bajas, justo donde se encuentra el ruido. La forma más sencilla de aplicarlo a través de la programación es hacer una media de los valores que se van obteniendo.

Si se quiere medir con un sensor de ultrasonidos sería complicado si no se utiliza alguna técnica como esta. Dependiendo del número de muestras que se utilicen para obtener la media, se puede tener un valor más preciso o menos preciso. Pero esto también influye en cuánto tarda en estabilizarse la medida cuando se produce un cambio. Por lo tanto, si se escoge un número alto de muestras, la media será más precisa, pero tarda más tiempo en reflejar los cambios. Por el contrario, si se escoge un número bajo de muestras, la media es menos precisa, pero se ve reflejados más rápidos los cambios. Elegir uno u otro depende de lo que se quiere conseguir, rapidez o precisión.

En este caso se elegió precisión y un rango de muestras de 100. Se programó una función que devuelve la medición del sensor como se muestra en la Figura 11.

Figura 12. Función para medir nivel del tanque.



```

1191
1192 // Función para medir la Altura del Nivel del Tanque
1193 float medirCalib() {
1194
1195     total=total-lecturas[lecturaActual]; // Eliminamos la última medida
1196     digitalWrite(Trig, LOW);
1197     delayMicroseconds(2);
1198     digitalWrite(Trig, HIGH); // genera el pulso de trigger por 10ms
1199     delayMicroseconds(10);
1200     digitalWrite(Trig, LOW);
1201     duracion = pulseIn(Echo, HIGH); // La función pulseIn obtiene el tiempo que tarda en cambiar entre estados, en este
1202     distancia = duracion*0.034/2; // calcula la distancia en centímetros
1203     lecturas[lecturaActual]=distancia; // Almacenamos la distancia en el array
1204     total=total+lecturas[lecturaActual]; // Añadimos la lectura al total
1205     lecturaActual=lecturaActual+1; // Avanzamos a la siguiente posición del array
1206     if(lecturaActual>=numLecturas){
1207         primeraMedia=true; // Comprobamos si hemos llegado al final del array
1208         lecturaActual=0;
1209     }
1210     media=total/numLecturas; // Calculamos la media de las lecturas
1211     if(primerMedia){
1212         return media; // Devolvemos la media si se ha calculado al menos 1
1213     }
1214     return 0;
1215 }
1216
1217
1218
1219

```

11.3. Descripción de softwares para simulación

Proteus es un sistema completo de diseño electrónico que combina un avanzado programa de captura de esquemas, un sistema de simulación mixto (analógico y digital) basado en SPICE (es un acrónimo inglés de Simulation Program with Integrated Circuits Emphasis. Fue desarrollado por la Universidad de California, Berkeley en 1973 por Donald O. Pederson y Laurence W. Nagel) (Programa de simulación con énfasis en circuitos integrados), y un programa para disposición de componentes en placas de circuito impreso y auto-ruteado. Se trata de un software comercial fabricado por Labcenter Electronics, caracterizado por su potencia y facilidad de uso (Labcenter Electronics, 2020). Se muestra en la Figura 12 la vista principal del *software* Proteus Design Suite en su versión 8.10

Figura 13. Vista principal de Proteus Design Suite 8.10.

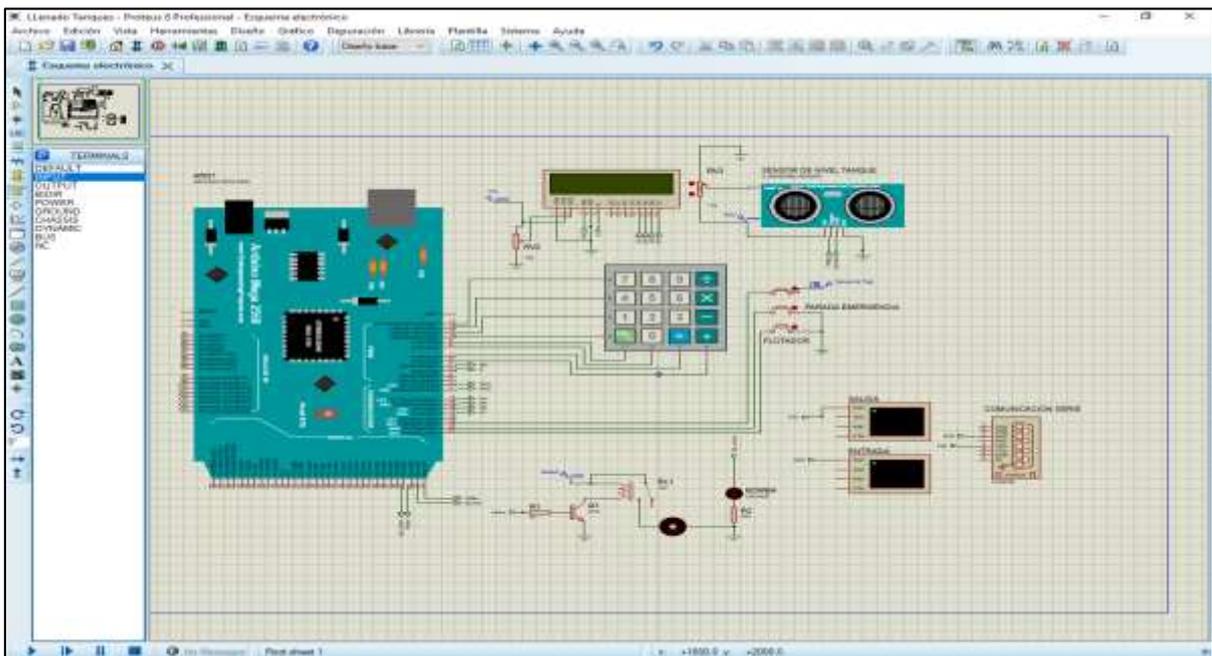


La razón principal que conduce a experimentar con Proteus es su capacidad para simular circuitos basados en microcontroladores, en especial el Arduino, con toda la electrónica que rodea a estos diseños (teclados, *displays* LCD, terminales RS-232, etc.), y hacerlo en tiempo real, de forma interactiva, y a partir del fichero ejecutable creado por cualquier ensamblador o compilador. Dicho lo anterior, ya no resulta sorprendente que Proteus también pueda simular diseños que incorporen PLD (*Programmable Logic Device*) y/o memorias ROM (*Read Only Memory*) o RAM (*Random Access Memory*). Para ello, será usado como entrada los ficheros con extensión HEX generados por software oficial de Arduino.

La simulación es una forma muy útil de imitar el comportamiento que un circuito físico está destinado a mostrar, por lo que al simular el circuito se puede buscar cualquier fallo en el código antes de implementarlo. De este modo, la simulación ahorra tiempo y dinero. Para poder simular Arduino en Proteus se debe descargar las librerías de Arduino para Proteus y así será posible simular los códigos construidos en el software oficial de Arduino.

En la Figura 13 se muestra el diseño de la simulación del Prototipo. Es válido mencionar que ya el *software* Proteus cuenta con las librerías de Arduino.

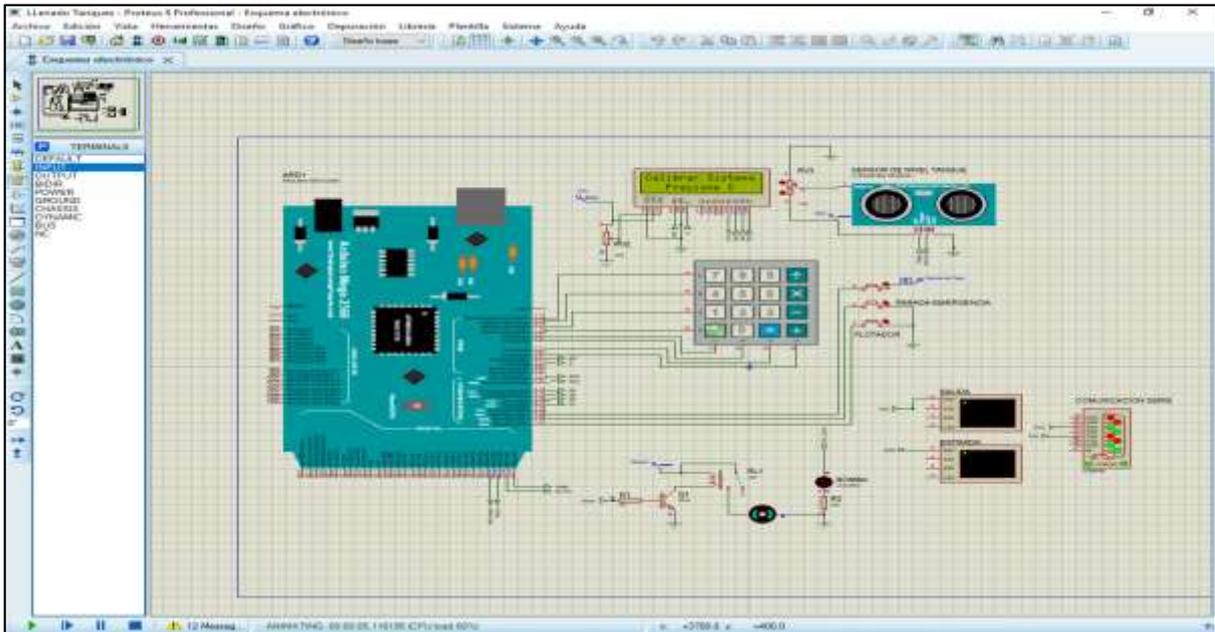
Figura 14. Diseño de la simulación del Prototipo.



Teniendo en cuenta que ya la programación del sistema está en el software de Arduino, se necesita alguna forma de simular este programa en Proteus. Esto se puede hacer creando el archivo HEX del código y luego usando este en el Proteus para la simulación.

Ya descargado este archivo HEX en él componente que simula un Arduino se pasa a su simulación para validar su funcionamiento, como se muestra en la Figura 14.

Figura 15. Simulación del Prototipo.

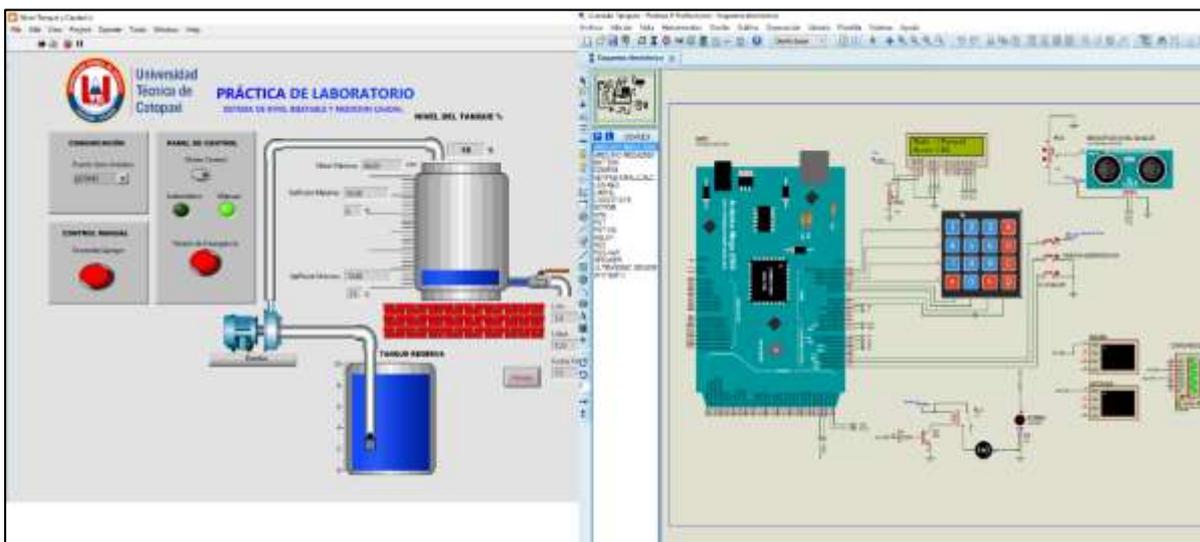


A continuación, se realiza la simulación de la interfaz HMI programada en Labview 2020. Cabe indicar que la plataforma Labview está siendo utilizada como un visor de datos y como un controlador. La tarjeta Arduino en este caso será la controladora, la cual lleva la programación que cumplirá las diferentes etapas y procesos del sistema de control.

La integración de Proteus con el software de LabView 2020 se realiza de una forma muy fácil. Ambos programas pueden comunicarse a través de comunicación serie (RS-232), ejecutándose en el mismo ordenador. De esta forma Proteus se comporta como un emulador virtual de sistemas completos.

A continuación, se muestra en la Figura 15 la simulación del sistema conectado con la interfaz HMI de LabView 2020.

Figura 16. Simulación de conexión de Proteus con la interfaz HMI en LabView.



Cabe mencionar que en la programación para calcular el flujo de salida de tanque con el sensor YF-S201, es necesario conocer el factor de conversión promedio de frecuencia a caudal, dicho dato lo da el fabricante ($K=7.5$). Teniendo el factor de conversión, el programa se resume a calcular la frecuencia de los pulsos del sensor, para después con el factor de conversión escalar de frecuencia a caudal.

Esto se realizó de la siguiente forma, se habilitó una interrupción que ejecuta una función que cuenta los pulsos. Esta función es una rutina de servicio de interrupción y se llamará cada vez que haya una señal de interrupción en el pin19 del Arduino. También se habilitó un temporizador que ejecuta una función (contra reloj) cada un segundo y se podrá contar el número de frecuencias producidas por el sensor de flujo. En esa función se acumula en la variable pulsos acumulados el total de pulsos y se divide entre 400, para conocer los litros consumidos. Entonces el caudal es frecuencia entre factor de conversión (K). Después de encontrar el caudal que está en litro/minuto, lo dividimos por 60 para convertirlo en litro/segundo.

A continuación, se muestra en la Figura 16 una porción del programa para calcular lo explicado.

Figura 17. Programación para calcular el flujo de salida de tanque.

```

1347
1348
1349 137 // Configurar el timer para 1 segundo
1350 138 Timer1.initialize(1000000); // Configurar el timer para 1 segundo
1351 139 Timer1.attachInterrupt(contadorreloj);
1352 140 attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(pinYP), Npulsos, RISING); // (Interrupcion función Npulsos| Flanco de subida)
1353 141
1354 142
1355
1356 //función que se va a ejecutar cdo se active la interrupción pin 19
1357 void Npulsos(){
1358     pulsos++;
1359 }
1360
1361 // Función de Reloj cada 1 segundo
1362 void contadorreloj() {
1363
1364     pulsosAcumulados=pulsosAcumulados+pulsos; // acumulamos los pulsos totales
1365     float frecuencia=pulsos; //obtenemos la frecuencia de los pulsos en Hz
1366     caudal_l_m=frecuencia/fact_conv; //calculamos el caudal en L/m
1367     caudal_l_h=caudal_l_m*60; //calculamos el caudal en L/h
1368     litros=pulsosAcumulados*1.0/400; //calculamos los litros consumidos
1369     pulsos=0;
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377

```

Para la visualización y configuración de toda la información del sistema de control de la planta se usó un display y un teclado matricial. La información que se muestra, siempre que esté en funcionamiento normal, es el modo en que se encuentra el sistema (automático o manual) y la cantidad de líquido en porcentaje de llenado. Se programaron dos menús de configuración, el primero para configuración de la altura total del tanque de forma automática y manual. El segundo para configurar de forma manual los parámetros de *setpoint* (máximo nivel y mínimo nivel), factor de conversión K y nivel de alarma.

La interfaz gráfica HMI (*Human-Machine-Interface*) se programó en el software LabVIEW 2020 que incluyó el control, la visualización, la adquisición y el almacenamiento de los datos obtenidos del Arduino. Labview (acrónimo de *Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench*) es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un lenguaje de programación visual gráfico. Está dividido en dos bloques fundamentales:

Interfaz gráfica de usuario - Esta interfaz es utilizada para interactuar con el usuario cuando el programa se está ejecutando.

La interfaz gráfica de usuario da la posibilidad de interactuar en tiempo real desde una computadora con el prototipo, evidenciando cambios y características presentadas en los

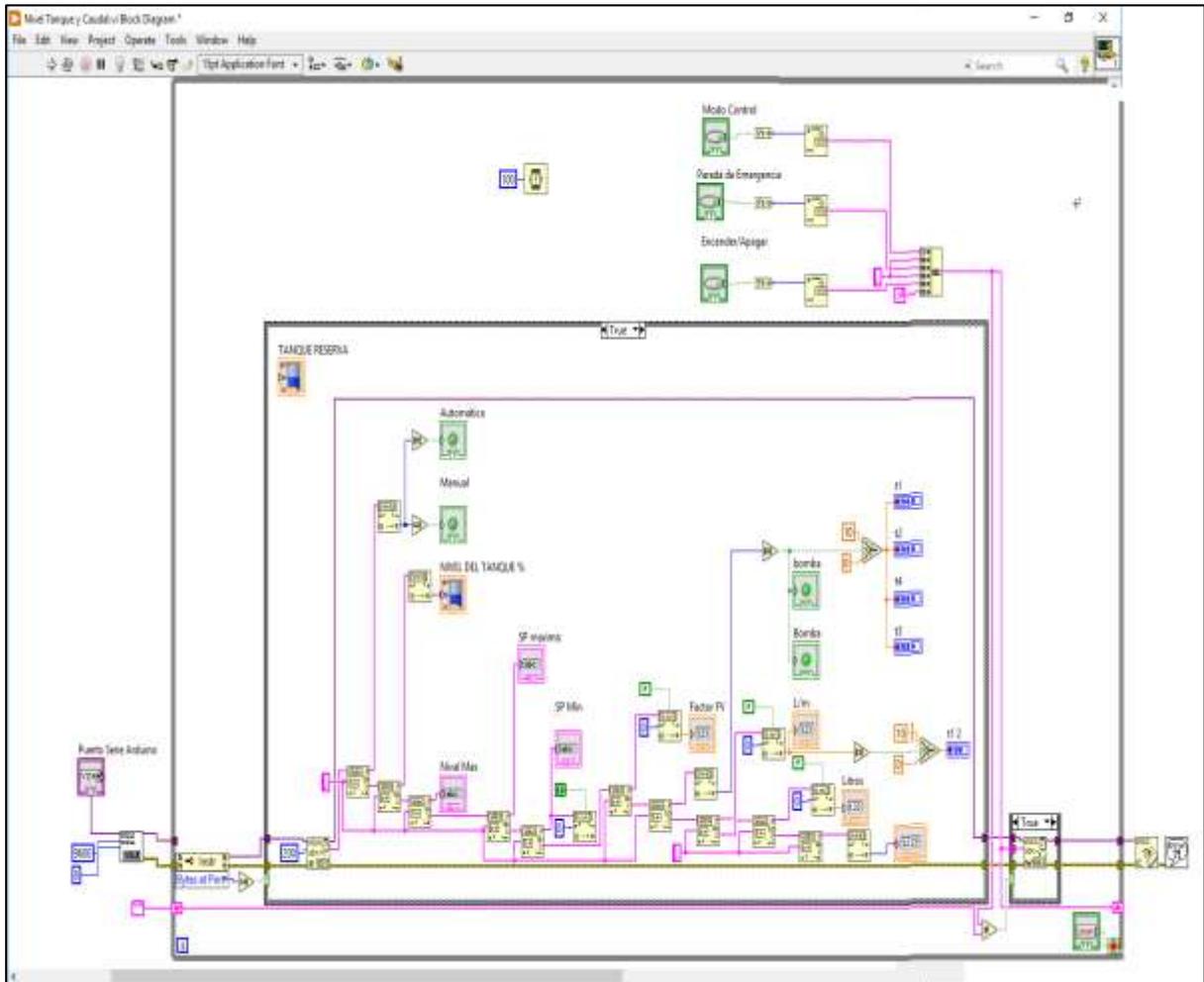
parámetros de cada una de las variables de entrada y salida del sistema. En la Figura 17 se muestra la interfaz visual diseñada.

Figura 18. Interfaz visual HMI.



11.4. Diagrama bloques (programación gráfica) – Aquí se define la funcionalidad del HMI, se colocan iconos que realizan una función determinada y se interconectan con otros iconos para cumplir una tarea o una función específica. Se muestra en la Figura 18 la programación gráfica del prototipo donde se definen todas sus funcionalidades.

Figura 19. Programación gráfica del prototipo



De manera general se realizó una pequeña explicación de los principales códigos de la programación del sistema de control de la planta. A continuación, se hará una simulación del sistema para comprobar su funcionamiento.

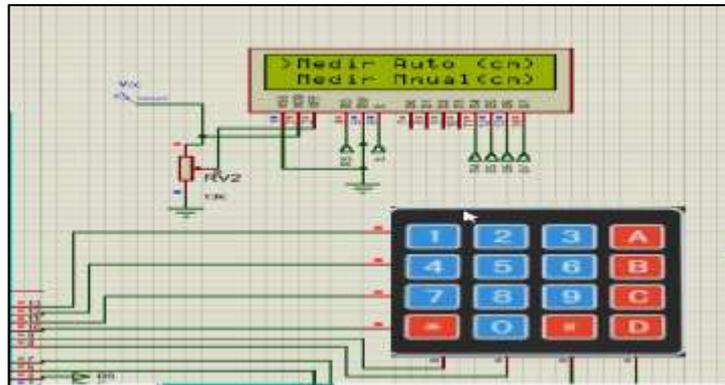
11.5. Pruebas de simulación

Durante el proceso de pruebas son simuladas todas las funcionalidades del sistema de control con el objetivo de buscar cualquier fallo en el código antes de implementarlo de manera real. Para la simulación del teclado matricial en Proteus se usó uno que no tiene la misma distribución de teclas. En la explicación de algunas de las pruebas que se realizaron y en las figuras que se van a presentar se sustituye por el teclado real que se va a usar para un mejor entendimiento.

En la Figura 17 del epígrafe anterior se muestra en el display el estado con que inicia el sistema (Calibrar sistema). Es necesario configurar el valor de la altura del tanque, para esto se debe

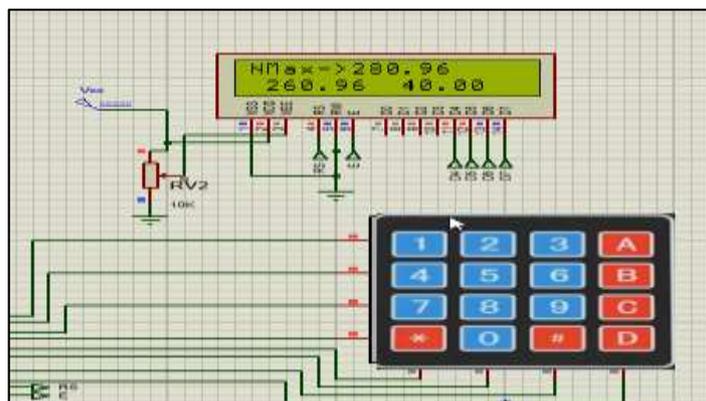
entrar al menú de configuración presionando la tecla “C”, se muestra en la Figura 19 el menú de calibración. Estando dentro de este menú hay dos opciones, la primera es medir la altura del tanque y la segunda introducir esta altura de forma manual. Para moverse de una opción a otra se realiza presionando la tecla “*” y para entrar la tecla “#”, esto mismo se aplica en todos los menús. Tanto en la forma automática como en la manual se escoge la altura del tanque y se configura los valores de *setpoint* (nivel máximo y nivel mínimo) y se guarda en la memoria EEPROM del Arduino. El *setpoint* máximo se calcula de la siguiente forma, se restan 10 centímetros a la altura máxima del tanque para evitar que el agua llegue al sensor. Al *setpoint* mínimo se le da un valor fijo de 20 cm.

Figura 20. Menú Calibración.



Para comprobar si los valores de configuración inicial fueron configurados y guardados se probó la forma automática y manual, en los dos casos se pudo verificar que funcionan. Para visualizar los valores se presiona la tecla “1”

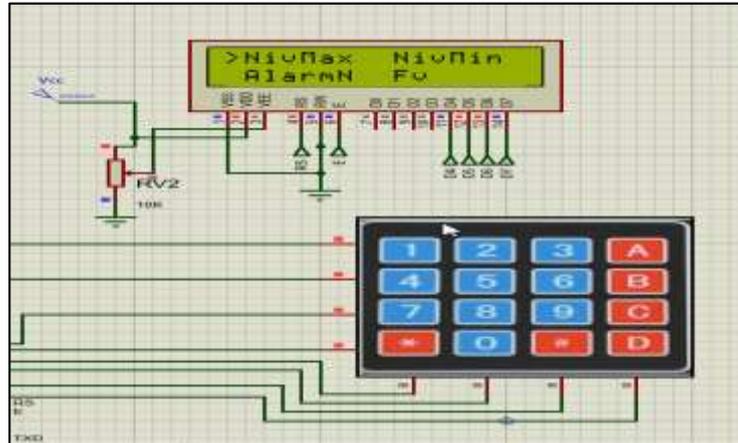
Figura 21. Visualización de los valores de configuración.



También se comprobó el menú de configuración manual del sistema, que es el encargado de la configuración manual de los parámetros *setpoint* (nivel máximo y nivel mínimo), nivel de

alarma y factor de conversión Fv para calcular el caudal. Para acceder a este menú se presiona la tecla “B” y se prueba cada una de las opciones. Se pudo comprobar su correcto funcionamiento modificando los parámetros y después visualizándolos presionando la tecla “1”. Ver Figura 21.

Figura 22. Menú de configuración manual de los parámetros.



El sistema cuenta con dos modos de operación (manual y automático) como se aprecia en las Figuras 22 y 23. Para cambiar de un modo a otro se hace presionando la tecla “A”. En el modo manual se comprobó el encendido y apagado de la bomba. Para encenderla se hace presionando la tecla “#” y la tecla “*” para apagarla. En el modo automático se comprobó que la bomba se enciende y se apaga según los parámetros configurados de *setpoint* máximo nivel y mínimo nivel. Se muestra en el *display* un símbolo el cual significa que la bomba está encendida tanto en el modo automático como manual.

Figura 23. Modo manual

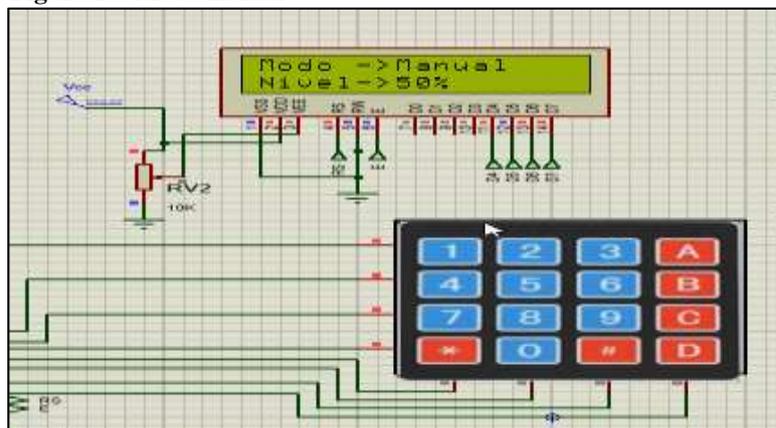
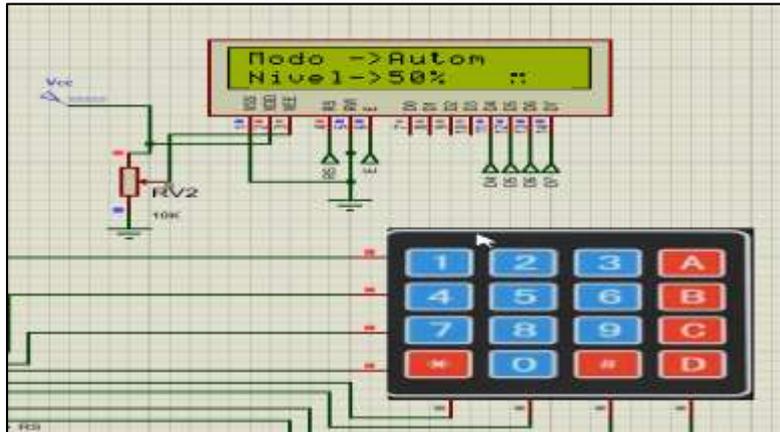


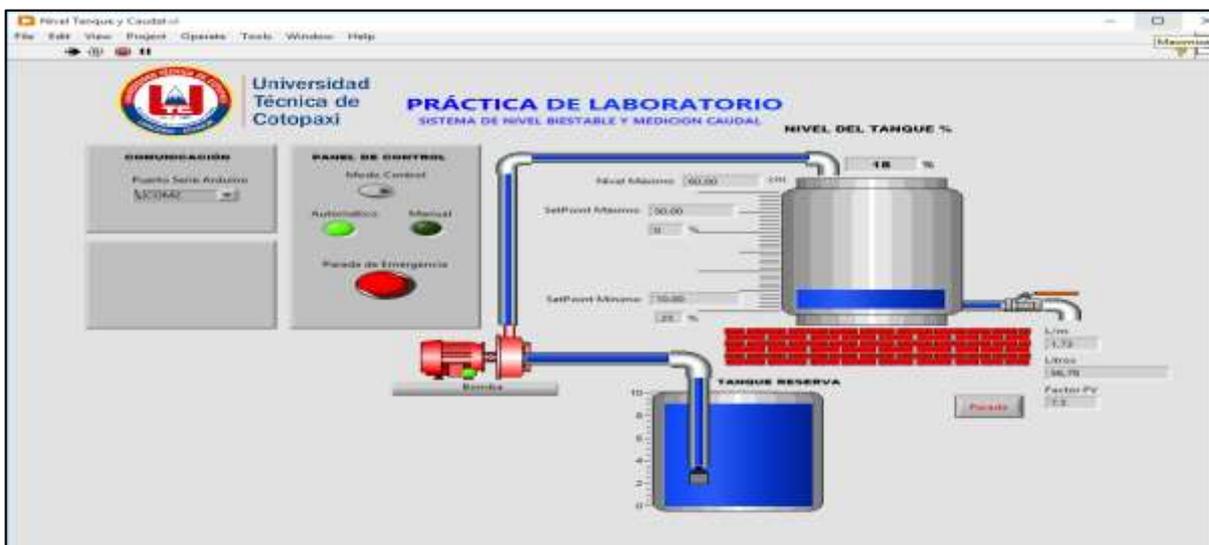
Figura 24. Modo automático bomba encendida



Se procede a realizar pruebas de simulación de la interfaz diseñada en LabView conectada con Proteus. Como se mencionó en el epígrafe anterior la plataforma Labview está siendo utilizada como un visor de datos y como un controlador, aunque no debe estar funcionando para controlar el sistema ya que Arduino se encarga de esto.

La interfaz cuenta con tres paneles, uno de configuración de la comunicación con Arduino, otro de control (manual o automático) y por último el control manual de la bomba. También cuenta con la visualización de los parámetros de configuración del tanque (*setpoint*), porcentaje de llenado e información del caudal. Además, se realiza una animación de cuando está encendida la bomba. Se pudo comprobar su correcto funcionamiento en el control y visualización de los datos del sistema como se muestra en la Figura 24.

Figura 25. Modo Automático interfaz HMI LabView.



De manera general fueron simuladas todas las funcionalidades del sistema tanto en Proteus como en LabView. En el manual de ayuda (Ver Anexo 1) se explica de forma más detallada el funcionamiento del sistema programado.

11.6. Implementación del Prototipo

Para realizar la implementación del prototipo, se siguieron los pasos enunciados a continuación:

- a) Definición de equipos necesarios.
- b) Proceso de fabricación de los tanques.
- c) Acople de tubería.
- d) Pruebas para fugas de agua.
- e) Diseño e Instalación del circuito.
- f) Prototipo terminado.

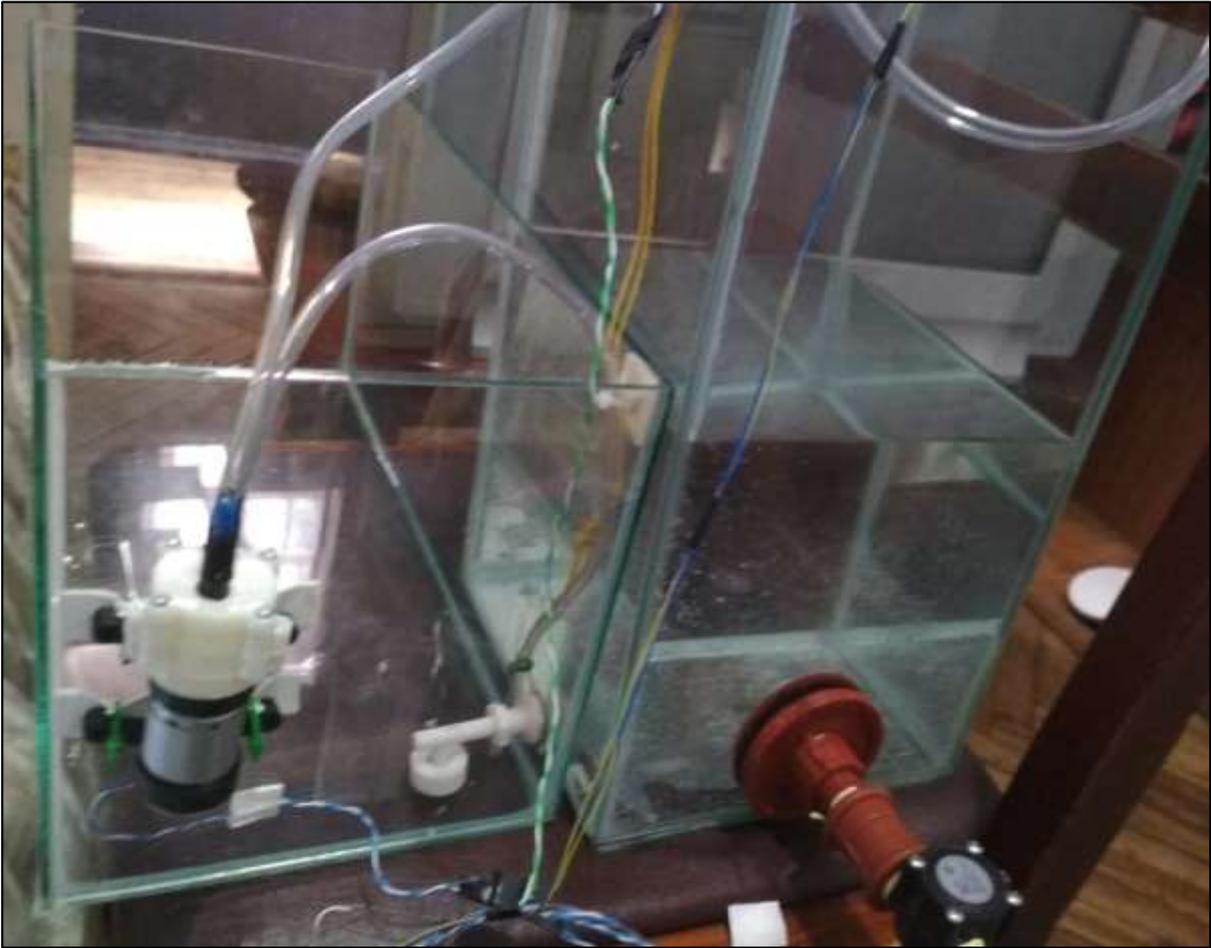
En el desarrollo del prototipo fue necesario definir diferentes parámetros e instrumentaria, y así lograr un montaje exitoso con la intención de dar un funcionamiento adecuado al sistema de tanques. Para la definición del diseño, se inició con una consulta de varias fuentes y tener una clara idea de lo que se llevaría a cabo (ver Anexo 3).

La construcción de tanques requiere de cuidado y dedicación puesto que, para el trabajo y la manipulación de líquidos, los tanques tienen que estar sellados. Se estableció desde un principio la compra de los siguientes materiales para la realización y ensamblaje de los tanques:

- 2 láminas de 3 metros x 3 metros de acrílico color cristal.
- Tubo de 50 cm en PVC de 0.0127m.
- Codos, niples, conectores hembra macho, flanches, silicona y sikaflex.
- Soldadura y limpiador de PVC.
- 1 válvula de 0.0127m manual.

Se pudo realizar sin ningún tipo de inconvenientes la construcción de los tanques y el proceso de acople de tuberías, dándole paso a la primera prueba con agua como se evidencia en la Figura 25.

Figura 26. Prueba de llenado y anti fugas.



Posterior a la operación de llenado de los tanques y comprobar la ausencia de fugas hidráulicas, el siguiente paso es la interconexión de los sensores y actuadores con el Arduino y a su vez las respectivas conexiones eléctricas del sistema. Ver Figura 26 y 27.

Figura 27. Sensores y actuadores.



Figura 28. Conexiones eléctricas del sistema.



Se construyó un prototipo funcional para poder realizar las actividades didácticas (véase la Figura 28).

Figura 29. Prototipo terminado



11.7. Análisis del funcionamiento del prototipo

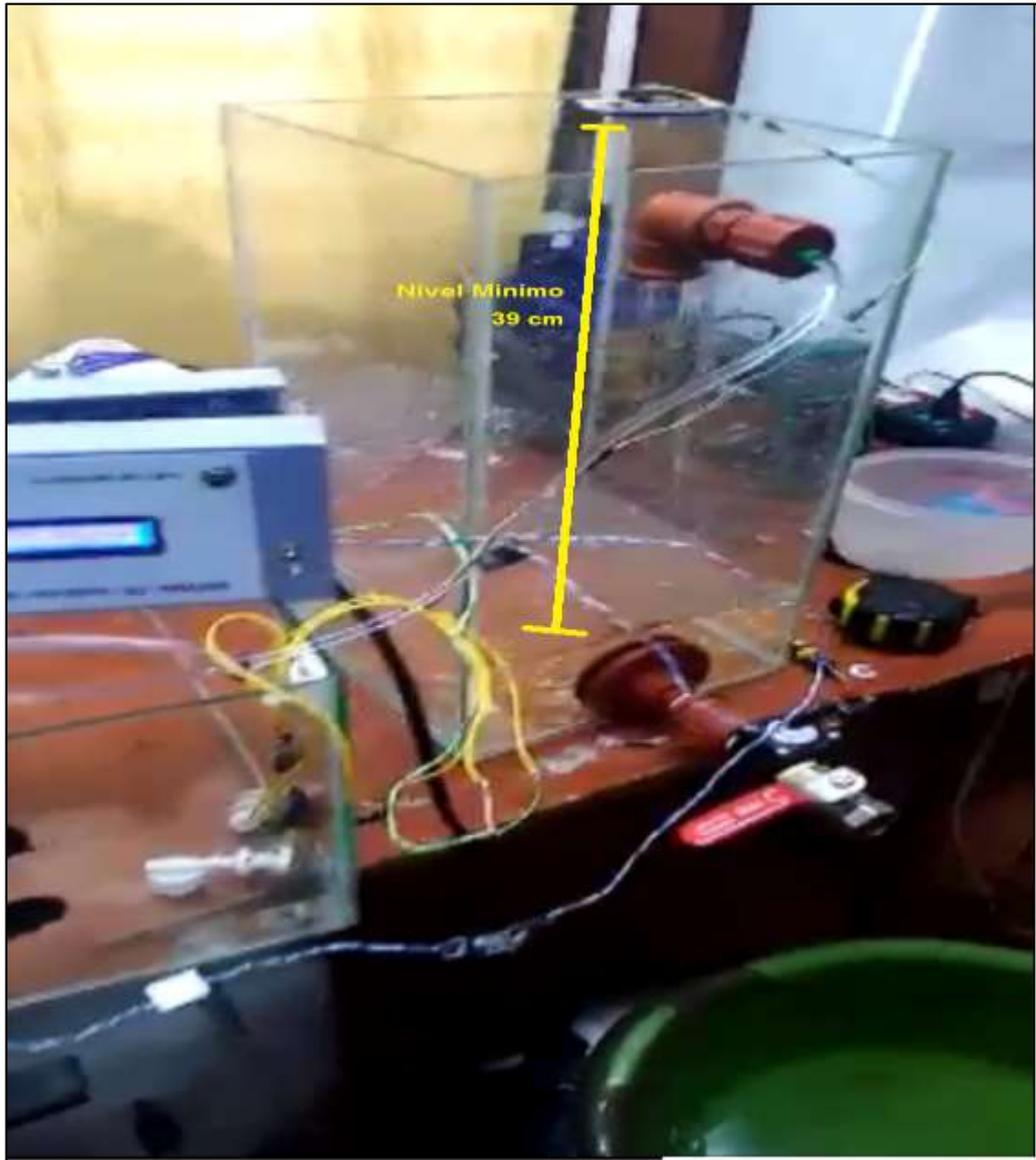
Como primer paso en la comprobación del funcionamiento del equipo se realiza la verificación de cada sensor, primero utilizando un multímetro para ajustarlos y/o para asegurar que la salida en las condiciones extremas no sobrepase los límites de voltaje admitidos por el Arduino.

Prueba de calibración del sensor de nivel

En el mercado existe gran variedad de sensores de nivel industriales muy sofisticados y a su vez costosos, pero para este caso se ha mencionado se utilizó un sensor ultrasónico HC-SR04. En la figura 11 del epígrafe anterior se muestra la función para medir nivel del tanque la cual compara la distancia entre el sensor y el fondo del tanque de control.

En la prueba de calibración para el nivel mínimo que es 0 litros se midió una distancia de 39 [cm] tomando como referencia la posición del sensor en el tanque como se ve en la Figura 29. Este valor es la referencia para que el controlador Arduino realice el control de nivel biestable. Se comprobó con una cinta métrica que el sensor está midiendo de forma correcta la distancia.

Figura 30. Calibración del sensor ultrasónico.



Prueba de calibración del sensor de flujo

La variedad de sensores de flujo en el mercado es muy grande, al igual que su costo. Sensores ultrasónicos, de efecto coriolis, electromagnéticos, presión diferencial, etc., ya sean estos analógicos o digitales, los cuales presentan una salida normalizada de voltaje y/o corriente. Al ser estos dispositivos muy completos y robustos su costo es muy elevado por lo que para la medición de caudal en este sistema se utilizó un sensor de flujo YF-S201 el cual con ayuda del controlador Arduino de realiza la medición del flujo de salida en litros por minutos.

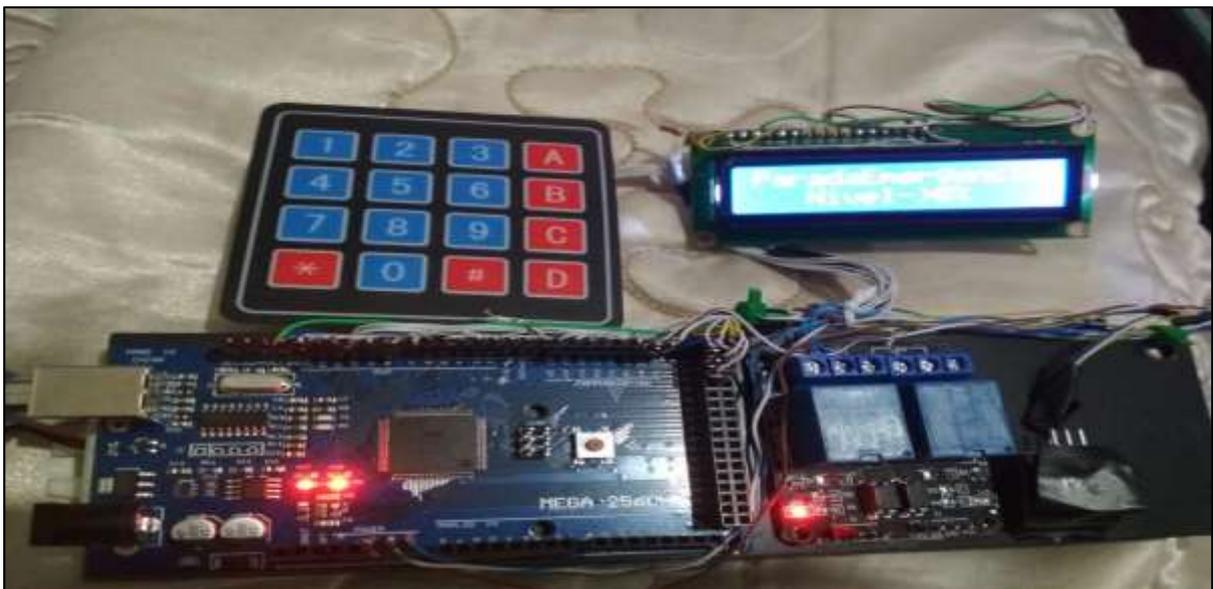
En el epígrafe anterior en la figura 16 se muestra el código que se usó para la medición del caudal de salida. Se verifico el funcionamiento del sensor de flujo al realizar el proceso vaciado

de tanque de control. En términos ideales el caudal medido debe coincidir con el caudal que indica el display. En el caso de prueba se pudo comprobar que en medio minuto midió 3.2 litros evidenciándose una correcta medición de caudal.

Pruebas generales

En la etapa de pruebas generales de funcionamiento del prototipo construido se comprobó cada una de sus actividades, evidenciándose un correcto funcionamiento de las mismas.

Figura 31: Pruebas generales de funcionamiento



En la figura 30 se comprobó el funcionamiento del HMI (HUMAN INTERFAZ INTERACTIVE) demostrando la maniobra desde el software LabView, visualizándose el llenado del tanque interactivo del programa y evidenciándose de manera real en el tanque de llenado del prototipo, y la señalización en la pantalla LCD 2X16

Figura 32. Pruebas de funcionamiento.



12. IMPACTOS

El proyecto “Diseño e implementación de un sistema nivel biestable y medición caudal para tanques elevados en tiempo real” se enfocó en proporcionar una herramienta de aprendizaje en la carrera de ingeniería en Electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi Extensión La Maná, para que los actuales y futuros estudiantes se instruyan con equipos, procesos y situaciones más a fin con las que en el campo profesional pudieran enfrentarse.

El proyecto busca brindar un módulo educativo con una estructura dinámica y de fácil acceso a todos los equipos electrónicos, eléctricos y mecánicos que intervienen en el proceso a escala para que la manipulación de los mismos sea la adecuada. Para completar y optimizar el uso de este prototipo se dispuso la documentación pertinente como los programas y el manual de operación.

Además sirve como un prototipo de un sistema de nivel biestable y medición de caudal, que permita el monitoreo de llenado y consumo en tiempo real en tanques elevados para proyectos que se deseen ejecutar.

El impacto que presenta el uso de esta tecnología es de gran beneficio para la Universidad de Cotopaxi y las diferentes ciudades y poblaciones circundantes a la misma, puesto que su uso brindará los siguientes resultados: Económicos ya que el control de nivel biestable y medición de caudal para tanques elevados en tiempo real, es efectiva y de bajo costo con referencia a otros métodos utilizados; ecológicos, ya que el uso de este dispositivo facilita un control sostenible del tan preciado líquido; científicos y/o tecnológicos, ya que se dará inicio a la creación de nuevos sistemas que utilicen tecnologías similares como es el LOGO de SIEMENS, que permite el control de varias salidas mediante la programación de varias entradas.

A nivel industrial permitirá fomentar valores de responsabilidad y prevención dentro de las diferentes fábricas e industrias, grandes consumidores de agua, ya que el proceso de nivel biestable y medición caudal permite cuantificar las pérdidas por el consumo del caudal no controlado y corregir la causa en tanques elevados, dando paso a la solución de diversos problemas sociales para la ciudadanía en general.

13. VALORACIÓN ECONÓMICA Y/O PRESUPUESTO PARA IMPLEMENTAR LA PROPUESTA DEL PROYECTO:

Tabla 2: Presupuesto para implementar la propuesta del proyecto

Ítem	Descripción	Cantidad	Medida	Precio U.	Precio T.	
1	Placas Arduino (MEGA)	1	Unidad	\$ 14,85	\$ 14,85	
2	Cables USB tipo B (1m)	1	Unidad	\$ 9,99	\$ 9,99	
3	Módulo relé de 2 Canales	1	Unidad	\$ 5,50	\$ 5,50	
4	Sensor ultrasónico (HC-SR04)	1	Unidad	\$ 15,00	\$ 15,00	
5	Cable fino de 10 Vías	1	Metro	\$ 5,50	\$ 5,50	
6	Sensor de Caudal (YF-S201) 0.0127m	1	Unidad	\$ 13,50	\$ 13,50	
7	Pantalla LCD de 16×2.	1	Unidad	\$ 8,00	\$ 8,00	
8	Teclado Matricial 4x4 de Arduino	1	Unidad	\$ 4,00	\$ 4,00	
9	Buzzer	1	Unidad	\$ 3,50	\$ 3,50	
10	Potenciómetro variable 10k	1	Unidad	\$ 13,00	\$ 13,00	
11	Resistencia de 330	2	Unidad	\$ 8,40	\$ 16,80	
12	LED Rojo	1	Unidad	\$ 3,00	\$ 3,00	
13	LED Verde	1	Unidad	\$ 3,00	\$ 3,00	
14	Fuente de alimentación de 5V a 2A	1	Unidad	\$ 10,00	\$ 10,00	
15	Soldador eléctrico	1	Unidad	\$ 20,00	\$ 20,00	
16	Estaño	5	Metro	\$ 0,60	\$ 3,00	
17	Sensor Nivel de Agua tipo Flotador	1	Unidad	\$ 8,00	\$ 8,00	
18	Bomba DC-12V o 110VAC	1	Unidad	\$ 23,00	\$ 23,00	
19	Válvula Manual tipo Bola 0.0127m	1	Unidad	\$ 9,00	\$ 9,00	
20	Tubería y conectores PVC 0.0127m	4	Unidad	\$ 5,50	\$ 22,00	
21	Tanque de Control	1	Unidad	\$ 30,00	\$ 30,00	
22	Tanque Reserva	1	Unidad	\$ 30,00	\$ 30,00	
				Subtotal	\$243,34	\$270,64
				IVA	\$ 29,20	\$ 32,48
				Total	\$274,54	\$303,12

Elaborado por: Los Investigadores, 2021

14. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

14.1. CONCLUSIONES

- El trabajo expuesto como proyecto de titulación cumple con el objetivo principal que consiste en el diseño e implementación de una planta didáctica de control de nivel biestable y medición de caudal a través del controlador lógico Arduino Mega y un módulo de expansión de entradas y salidas digitales.
- Se desarrolló algoritmos de control y una interfaz Humano-Máquina (HMI) para controlar el sistema de forma eficiente, tomando en cuenta normas técnicas, de tal forma que al poner en funcionamiento no presente ninguna anomalía y funcione de forma correcta.
- Como parte del diseño del prototipo se simuló todo el funcionamiento del sistema de la planta didáctica a partir de software Proteus 2010 y se realizó la interfaz gráfica en el software LabVIEW 2020; validando así el sistema de control propuesto.
- Se construyó un prototipo de la planta didáctica que permita realizar pruebas en tiempo real para laboratorio de electromecánica que representa un aporte para reforzar los conocimientos de los estudiantes de la carrera en el área de instrumentación y control industrial.
- Se validó el sistema de control desarrollado ejecutando pruebas de funcionamiento, logrando así el accionamiento eficiente de los actuadores, el control, monitoreo y supervisión del sistema biestable, obteniendo una comunicación continua entre las variables del proceso y el operador.
- El manual de usuario presenta una explicación detallada de todo el funcionamiento, de los procedimientos de operación y puesta en marcha del sistema.

14.2. RECOMENDACIONES

- Antes de manipular el sistema de control el usuario debe leer el manual de usuario, el funcionamiento de los equipos y sistemas didácticos para evitar accidentes que dañen los equipos y/o la integridad del operador.
- Cumplir con las instrucciones de uso, seguir los pasos de maniobra y puesta en marcha del sistema de control adjuntos en este proyecto para prolongar la vida útil del sistema de control y adquirir un rendimiento óptimo del mismo.
- Antes de energizar el sistema de control comprobar las características técnicas de voltaje y corriente máxima admisible, para evitar sobrecargas, cortocircuito o daños de los equipos y/o lesiones a los usuarios.
- Se recomienda no cambiar la posición del sensor ultrasónico debido a que está configurado a una determinada distancia y se usa esta medida para determinar la altura de líquido, con lo que si se mueve o lo reubican se puede tener medidas no precisas del nivel actual de líquido presente en los tanques.
- Si se realizan modificaciones en los algoritmos de control para el sistema didáctico, se debe tener en cuenta las variables de entrada y salida con su respectivo voltaje de alimentación.
- Realizar actividades de mantenimiento que permitan conservar y prolongar la vida útil del equipo, actuadores, sistema didáctico, así como de los módulos.

16. BIBLIOGRAFIA

Acedo, J. (2013). Tipos de Control de Nivel, de Instrumentación y Control básico de procesos, Madrid, Ediciones Díaz de Santos, S.A, pp. 443, 444.

Arduino, (2020). Arduino Mega 2560 REV3. Disponible en:
<https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3> Addison-Wesley Iberoamericana.

Astudillo, R. A., (2016). Diseño e Implementación de un prototipo de medidor de Nivel de agua a través de un sensor ultrasónico para pasos Deprimidos, Tesis de Grado, Universidad Tecnológica Israel, Quito. [En línea]. Disponible en:
<http://repositorio.uisrael.edu.ec/bitstream/47000/1181/1/UISRAEL-EC-ELDT-378.242-19.pdf>

Bolton, W. (2004). *Instrumentation and control systems*. Oxford: Newnes.

Burns, R. S. (2001). *Advanced control engineering*. Oxford: Butterworth-Heinemann.

Cadena, Víctor M., (2005). Construcción y modelación de un sistema de control de nivel de líquidos. Escuela Politécnica. Disponible en Internet:
<<http://docentes.uni.edu.ni/fec/Alejandro.Mendez/Nivel2.pdf>>

Cobo, R. (2019). El ABC de la Automatización, HMI,” [En línea]. Disponible en:
<http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/hmi.pdf>

Colomer, J., Meléndez, J. y Ayza, J. (2016). Introducción a la monitorización y supervisión experta de Procesos” [En línea]. Disponible en:
<http://intranet.ceautomatica.es/sites/default/files/upload/10/files/sistemas%20de%20supervision.pdf>

Creus, A. (2001). *Instrumentación industrial* (6ª ed.). Santafé de Bogotá, Colombia: Alfaomega Marcombo. (Reimpreso a partir de la edición original de 1997)

Creus, Antonio (2017) *Instrumentación Industrial*. 6ª edición. Marcombo S.A.

Eurotherm. El proceso de purificación de agua. [En línea]. Disponible en:
<http://www.eurotherm.es/water-purification>.

Franklin, G. F., Powell, D. J., & Emami-Naeini, A. (2001). *Control de sistemas dinámicos con retroalimentación* (Trad. J. A. Carranza, V. H. del Valle). Wilmington, Delaware.

Gaviria, Carlos (2007). Modelado y simulación de un proceso de nivel [en línea]. Popayán. [citado 15 marzo, 2021]. Universidad del Cauca. Disponible en Internet:
ftp://ftp.unicauca.edu.co/Facultades/FIET/DEIC/Materias/Teoria_Sistemas_Lineales/Archivos%20curso/MapleMatlab/Cap2/Ejemplo%20Modelo%20Nivel/control%20de%20nivel.pdf

Goilav, N. y Loi, G., (2016). *Arduino Mega, ARDUINO Aprender a desarrollar para crear objetos inteligentes*, Barcelona, Editions ENI, pp. 222-224.

Gomáriz, S., Biel, D., Matas, J., y Reyes, M. (1999). *Teoría de control: diseño electrónico*. México D.F.: Alfaomega.

Gutarra, Peter S. Castillo. (2011). Modelación y control de un sistema de tanques acoplados [en línea]. Perú. Universidad de Piura. Disponible en Internet:
<http://repositorio.concytec.gob.pe/bitstream/CONCYTEC/232/1/Tesis%20-%20Gutarra%20Castillo%20Peter%20Sa%C3%BAI.pdf>

Harrison, H. L., y Bollinger, J. G. (2016). *Controles automáticos: sistemas, aplicaciones eléctricas, aplicaciones mecánicas, casos lineales* (2ª ed.) (Trad. L. Razo). México D.F.: Trillas. (Trabajo original publicado en 1969)

Healey, M. (2017). *Principles of automatic control*. Londres: D. Van Nostrand.

<https://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>.

Instituto Nacional de Ciberseguridad de España S.A., (2015). La evolución de los dispositivos en los sistemas de control industrial, 09 septiembre 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.certs.es/blog/evolucion-dispositivos-sistemas-control-industrial>.

Johnson, C. D. (2014). *Microprocessor-based process control*. Nueva Jersey: Prentice-Hall.

Lazalde, A., Torres, J. y Vila, D. (2015). Hardware Libre. [En línea]. Disponible en: <http://flokksociety.org/docs/Espanol/4/4.1.pdf.g>

Medrano V., A. J. y Chourio, L. M. (2017). Hardware libre y abierto, modelos de Negocio para América Latina y El Caribe.” *LATIN AMERICAN JOURNAL OF BUSINESS MANAGEMENT*. Vol. 8, n° 1, pp. 61-83. [En línea]. Disponible en: <http://www.lajbm.net/index.php/journal/article/viewFile/407/191>

Méndez, M. Á. y Erazo, P. J. (2014). Implementación de un banco de pruebas para el control de nivel de líquidos en el laboratorio de instrumentación industrial de la Facultad de Mecánica” Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, [En línea]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3338/1/25T00225.pdf>.

Molina, D. (2018). Implementación de un sistema de control automático para un biorreactor utilizando un controlador lógico programable. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

Ogata, K. (2018). *Ingeniería de control moderna* (3ª ed.) (Trad. M. A. Martínez). México: Prentice- Hall Hispanoamericana. (Trabajo original publicado en 1997)

Orozco, R. (2014). *Introducción al control automático*. San José, Costa Rica: Publicaciones de la Universidad de Costa Rica. (N° de serie 223).

Pérez, E. Los sistemas SCADA en la automatización industrial,” Máster en Sistemas Modernos de Manufactura y Bach. Universidad de Costa Rica. Recinto Grecia-Costa Rica. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5280242.pdf>

Ponsa, P. y Granollers, A., (2015). *Diseño y Automatización Industrial*.

Smith, C., & Corripio, A. (2017). *Principles and practice of automatic process control* (2nd ed.). Nueva York: John Wiley & Sons. Altmann, W. (2005). *Practical Process Control for Engineers and Technicians*. Oxford: Newnes.

ANEXOS

Anexo 1. Manual de Usuario.

INICIO DEL SISTEMA

Al iniciar el sistema, por ser la primera vez se visualiza en el display (LCD) un mensaje (CALIBRAR SISTEMA Presione C) (ver figura 32) debido a que se debe configurar el parámetro de altura del tanque, esto se puede realizar de dos formas. La primera de forma automática y la segunda de forma manual. Cuando se presiona la tecla **C** se visualiza en el display un menú de configuración (ver figura 33). Para moverse de una opción a otra en el menú se realiza presionando la tecla ***** y para entrar la tecla **#**, esto mismo se aplica en todos los menús de configuración que tiene el prototipo.

Figura 33: Inicio del sistema

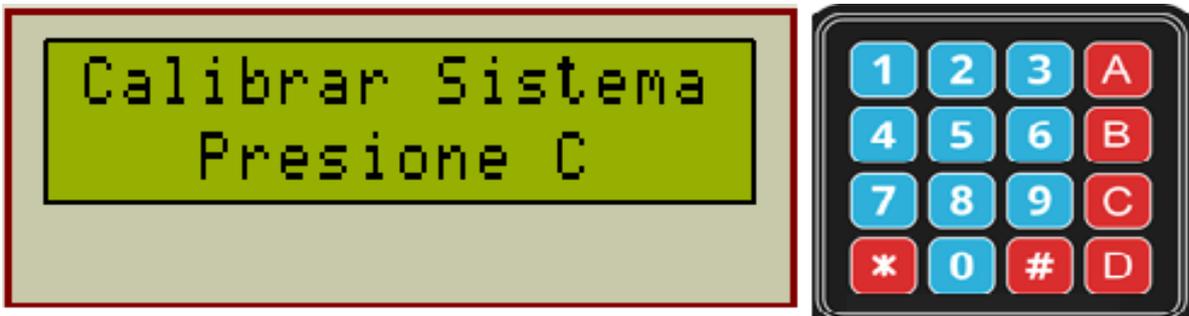
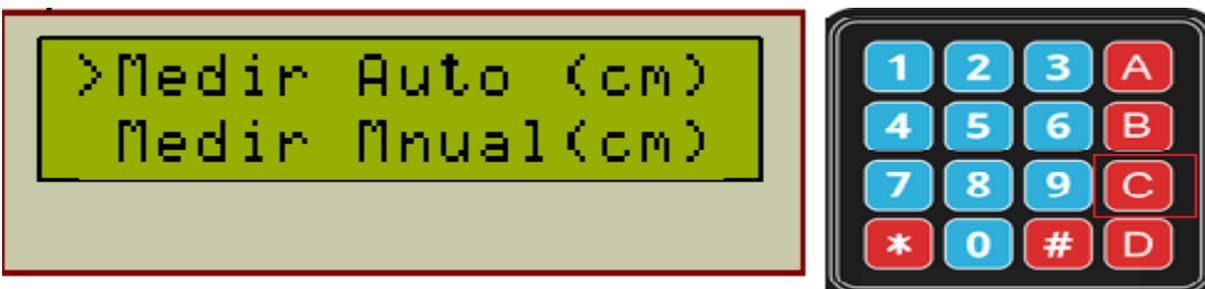


Figura 34: Menú de configuración



En el inicio aparece la primera opción (Medir Auto) marcada con el símbolo de mayor (>), para entrar dentro presionamos la tecla **#**. Mide la altura del tanque en cm (el tanque debe estar vacío) por el sensor de ultrasonidos HC-SR04 y se muestra en el display. Si se quiere cancelar la medición se presiona la tecla **C**. Después presionamos la tecla **#** para aceptar la medición

y configurar los parámetros que dependen de la altura del tanque, los mismos son: Setpoint máximo nivel y mínimo nivel y nivel de Alarma. Después de guardados estos parámetros en la memoria EEPROM del Arduino se vuelve a visualizar en el display el menú de configuración inicial. Para configurar el parámetro de forma manual presionamos la tecla ***** y nos movemos a la segunda opción. Ver figura 35.

Figura 35. Menú de configuración inicial



En esta opción se realiza el mismo procedimiento que en la primera, con la diferencia que la altura del tanque se debe introducir de forma manual usando los números del display y después presionando la tecla **#**. Ya configurados los parámetros se debe salir del menú de calibración, esto se realiza presionando la tecla **C**. Se muestra en el display el modo en que se encuentra el sistema (Modo Manual) y el porcentaje de llenado. Ver figura 36.

Figura 36. Modo Manual



Después de hecha la configuración inicial, en cualquier momento el usuario puede modificar el parámetro altura del tanque solo debe apretar la tecla **C** y se visualizara en el display el menú de configuración. Muy importante, cuando se está dentro de este menú el sistema se detiene.

MODO MANUAL

En el modo manual del sistema, el encendido de la bomba se realiza presionando la tecla **#** y el apagado presionando la tecla *****. En el display se puede apreciar cuando está encendida la bomba. Ver figura 37.

Figura 37. Modo manual del sistema



MODO AUTOMÁTICO

Para cambiar de modo Manual a Automático y viceversa se debe presionar la tecla **A**. En el modo automático del sistema, el encendido y apagado de la bomba se realiza conforme a los parámetros de Setpoint nivel máximo y mínimo configurado. Para visualizar por 5 segundos estos parámetros se realiza presionando la tecla **1**. El primer valor que aparece es la altura máxima del tanque, luego Setpoint máximo y mínimo. Ver en la figura 38.

Figura 38. Modo Automático



VISUALIZAR MEDICIÓN DE CAUDAL

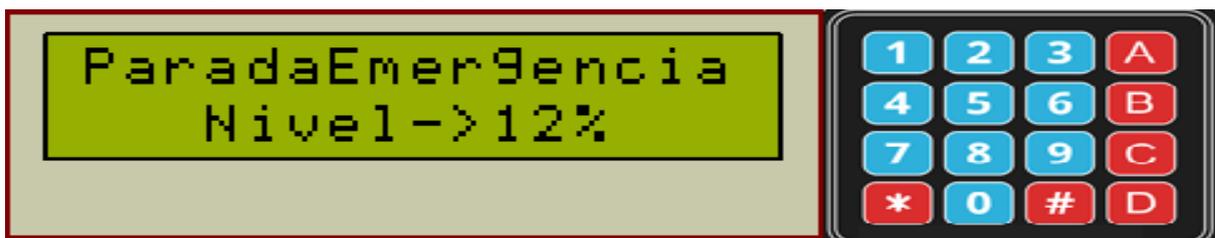
Para ver por 5 segundos la medición del caudal, así como los litros de agua consumidos se presiona la tecla **2**. Ver figura 39.

Figura 39. Medición del caudal**MENSAJE (No hay agua)**

El tanque de reserva cuenta con un sensor nivel de agua tipo flotador cuando este detecta que no tiene el agua suficiente para bombear el sistema se detiene y muestra un mensaje en el display, funciona de la misma forma en los dos modos (automático y manual). Ver figura 40.

Figura 40. Mensaje (No hay agua)**MENSAJE (Parada de Emergencia)**

Todo sistema automático debe tener un botón de parada de emergencia por si ocurre algo inesperado. Se puede parar el sistema presionando el botón PARADA EMERGENCIA luego el sistema muestra un mensaje indicando que se detuvo el sistema, funciona de la misma forma en los dos modos (automático y manual). Para volver a funcionamiento normal del sistema se presiona la tecla #. Ver en la figura 41.

Figura 41. Mensaje (Parada de Emergencia)

MODIFICAR PARAMETROS

Si se quiere modificar los parámetros de Setpoint, nivel de alarma y factor de conversión de forma manual se debe presionar la tecla **B**. Cuando se presiona esta tecla se muestra en el display un menú con 4 opciones (ver figura 41). Entramos en la primera opción presionando la tecla **#**, se muestra un mensaje de cambio del Setpoint de nivel máximo en cm y se muestra el valor que tiene este. Con las teclas de los números se puede introducir el nuevo valor, si es un número real se puede usar la tecla ***** como el punto (90.25). Si se desea cancelar el número introducido y salir de esa opción se presiona la tecla **B**. En el caso que se desea modificar el valor y guardarlo se presiona la tecla **#**, debe aparecer el mensaje de Salvando, si esto no ocurre es que el valor introducido no es correcto (en el caso de Setpoint máximo tiene una validación, el valor debe ser menor 10 cm que la altura máxima del tanque y 20 cm mayor que el Setpoint nivel mínimo). Esta secuencia es válida para las demás opciones. Muy importante cuando se está dentro de este menú el sistema se detiene. Ver lo explicado en la figura 42.

Figura 42. Modificar los parámetros

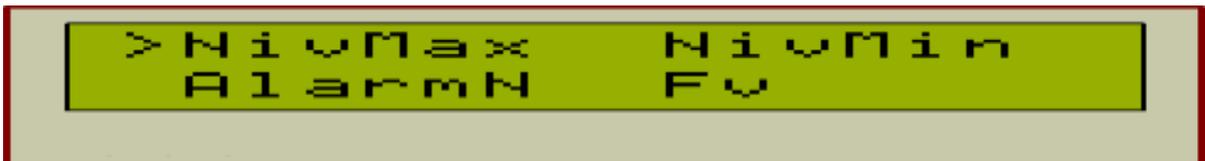
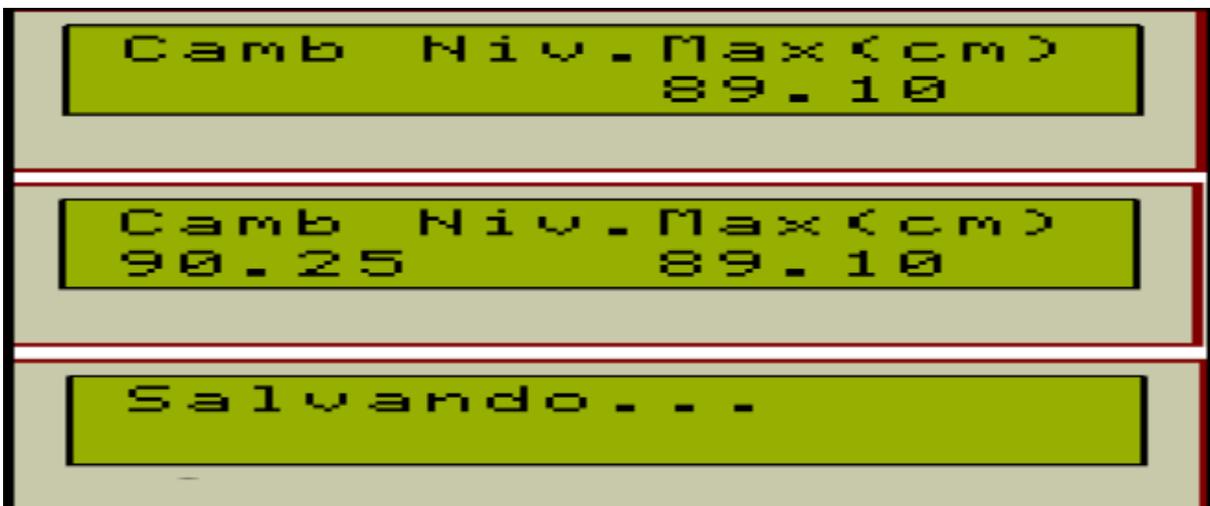


Figura 43. Modificar los parámetros



ALARMA SONORA

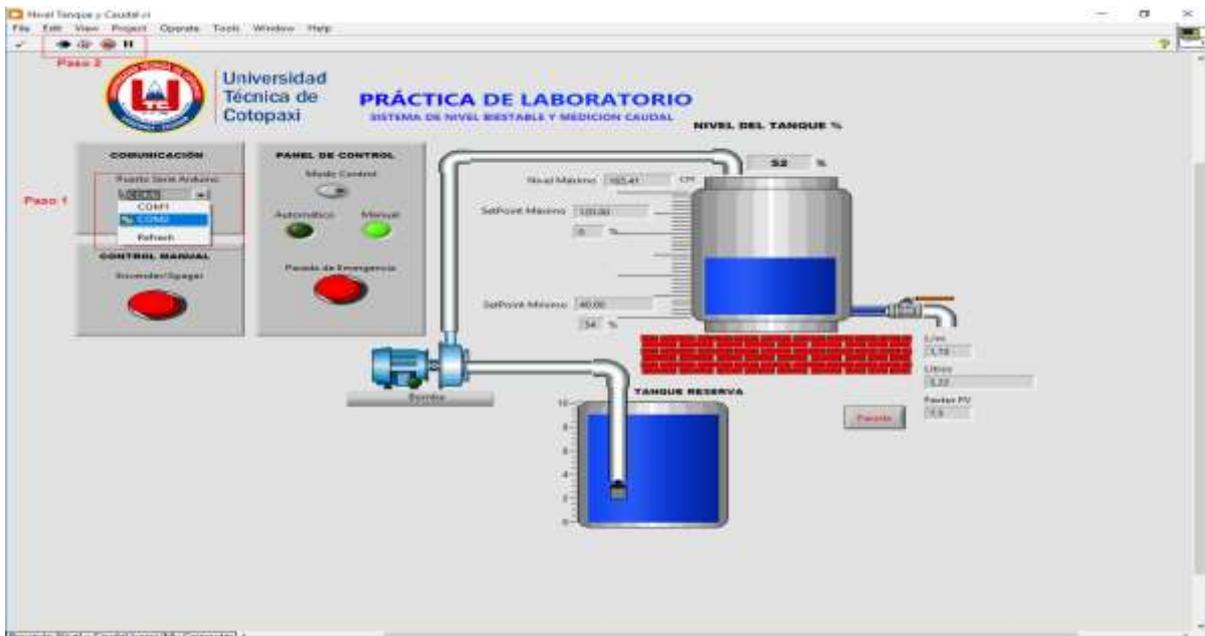
El sistema cuenta con una alarma sonora, la misma se activará siempre halla algunos de los siguientes motivos, tanto en modo manual o automático. Si esos motivos no existen la alarma se desactivará de manera automática.

- Parada de Emergencia
- Alarma de nivel
- No hay agua en el tanque de reserva

HMI (Human-Machine-Interface)

Ahora pasamos a explicar la interfaz HMI programada en LabView 2020. Para poder comunicar esta interfaz con el Arduino se debe conectar el mismo con un cable USB tipo B al ordenador y configurar el puerto serie donde está conectado este (**paso 1**). Después de esta configuración se debe de ejecutar la interfaz (**paso 2**). Ver figura 44.

Figura 44. HMI (Human-Machine-Interface)



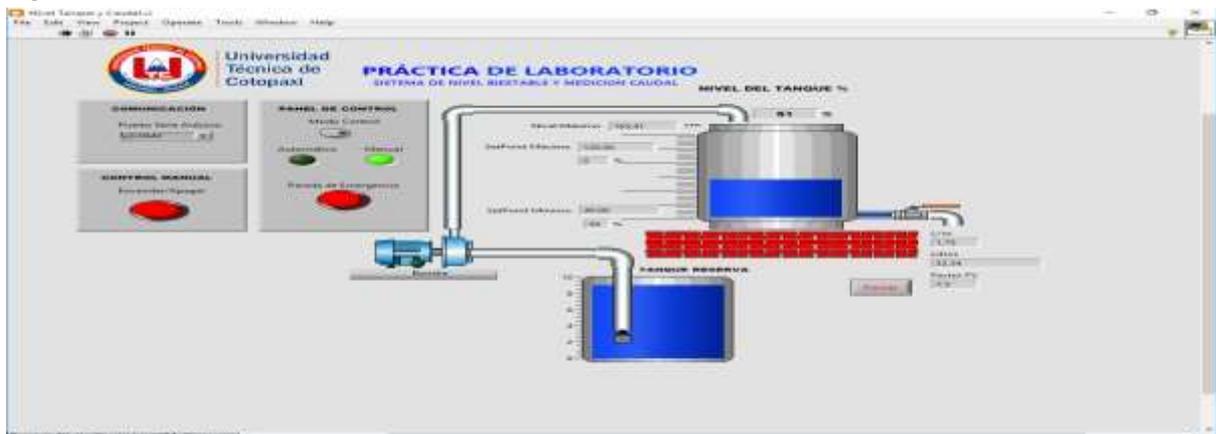
Después de ejecutada interfaz HMI pasamos a explicar sus partes y cómo funcionan. Consta de 3 paneles de control, el primero (Comunicación) fue explicado en la figura 42. Como segundo (Panel de control), aquí aparece un botón (Modo de control) para cambiar de modo automático a manual y viceversa y dos leds indicadores para cada uno de estos modos. También este segundo panel tiene un botón en rojo (Parada de emergencia) para detener el sistema ante cualquier eventualidad. El tercer panel (Control manual) tiene un botón que tiene como función encender y apagar la bomba solo en modo (Manual). Cuando se presiona si la bomba está apagada se enciende si está encendida se apaga. Ver figura 45.

Figura 45. Paneles de control



Esta interfaz HMI consta con una parte de visualización de todos los datos del prototipo. Esta se compone, dos tanques (reserva y control), bomba de agua, tuberías e indicadores para visualizar los parámetros de configuración. El tanque de reserva si esta de color azul indica que tiene agua (si está de color rojo indica que no tiene agua y el sistema muestra en el display un mensaje y no se puede encender la bomba) y el tanque de control va a mostrar el porcentaje de llenado. Si la bomba está encendida se muestra en color rojo y las tuberías muestran un color azul. En el caso de los indicadores visualizan todos los parámetros configurados. Ver figura 46.

Figura 46. Interfaz HMI

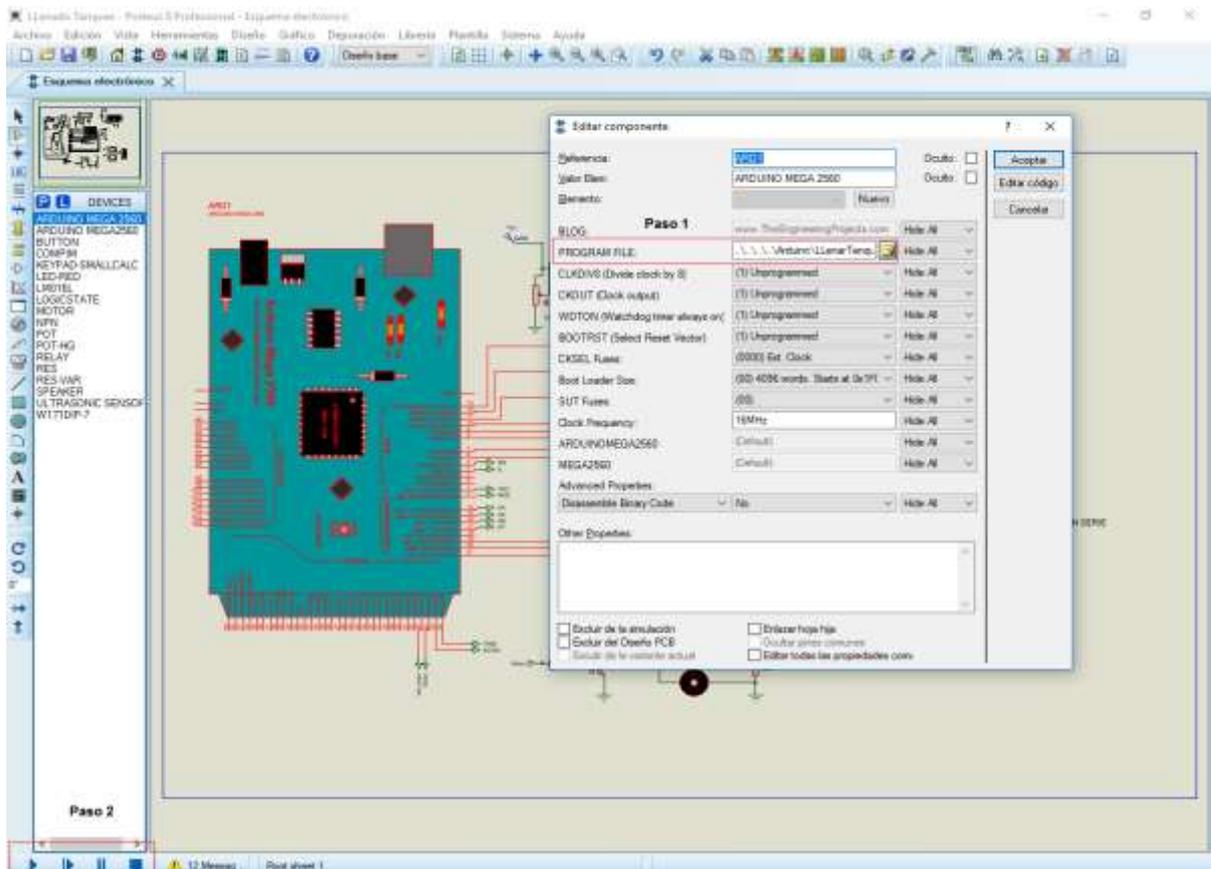


Anexo 2. Manual de Usuario de la simulación Proteus y LabVIEW.

Para poder simular el prototipo de control de nivel biestable en el software Proteus 2010 se debe tener instalado las librerías de Arduino.

Ya abierto el proyecto de Proteus lo primero que se debe hacer es descargar el código de programación al Arduino. Esto se realiza dando doble clic sobre el Arduino y en la ventana que aparece en la opción PROGRAM FILE se busca el archivo LLenar Tanque.ino.mega.hex y se carga (**Paso 1**). Después se pasa a ejecutar la simulación dando clic en ejecutar del panel de simulación (**Paso 2**). Se puede apreciar en la figura 47.

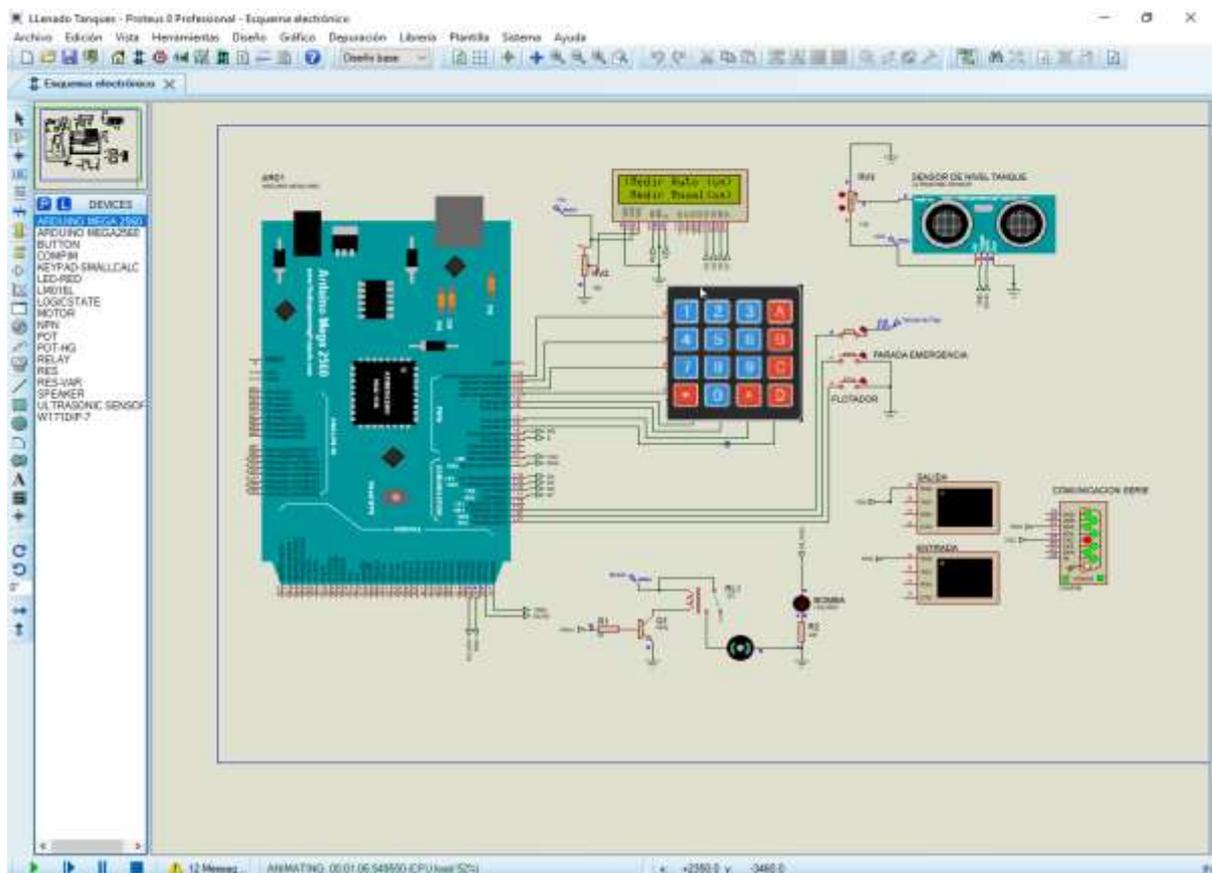
Figura 47. Simulación Proteus



Para la simulación del teclado matricial en Proteus se usó uno que no tiene la misma configuración de teclas. En la explicación de este manual de ayuda, las figuras que se van a presentar se va a sustituir por el teclado real que se va a usar para un mejor entendimiento.

Ya ejecutado la simulación del proyecto, por ser la primera vez se visualiza en el display (LCD) un mensaje (CALIBRAR SISTEMA Presione C) debido a que se debe configurar el parámetro de altura del tanque, esto se puede realizar de dos formas. La primera de forma automática y la segunda de forma manual. Cuando se presiona la tecla **C** se visualice en el display un menú de configuración (ver figura 48). Para moverse de una opción a otra en el menú se realiza presionando la tecla ***** y para entrar la tecla **#**, esto mismo se aplica en todos los menús de configuración que tiene la simulación del prototipo.

Figura 48. Simulación del teclado matricial en Proteus



Al iniciar aparece la primera opción (Medir Auto) marcada con el símbolo de mayor (>), para entrar dentro presionamos la tecla **#**. Se mide la altura del tanque en cm (el tanque debe estar vacío) por el sensor de ultrasonidos HC-SR04 y se muestra en el display. Si se quiere cancelar la medición se presiona la tecla **C**. Después presionamos la tecla **#** para aceptar la medición

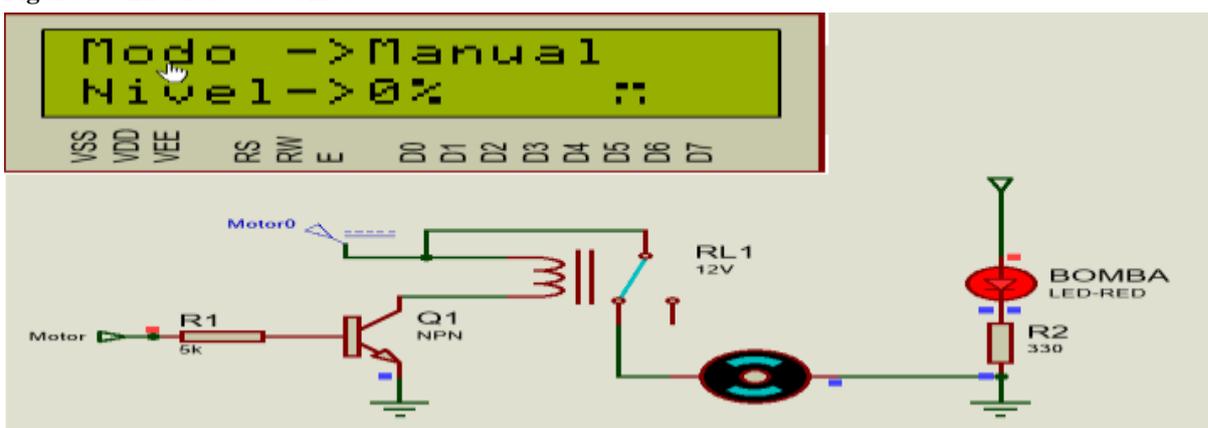
Y configurar los parámetros que dependen de la altura del tanque, los mismos son SetPoint máximo nivel y mínimo nivel. Después de guardados estos parámetros en la memoria EEPROM del Arduino se vuelve a visualizar en el display el menú de configuración inicial. Para configurar el parámetro de forma manual presionamos la tecla ***** y nos movemos a la segunda opción. Ver figura 49.

Figura 49. Configurar el parámetro de forma manual



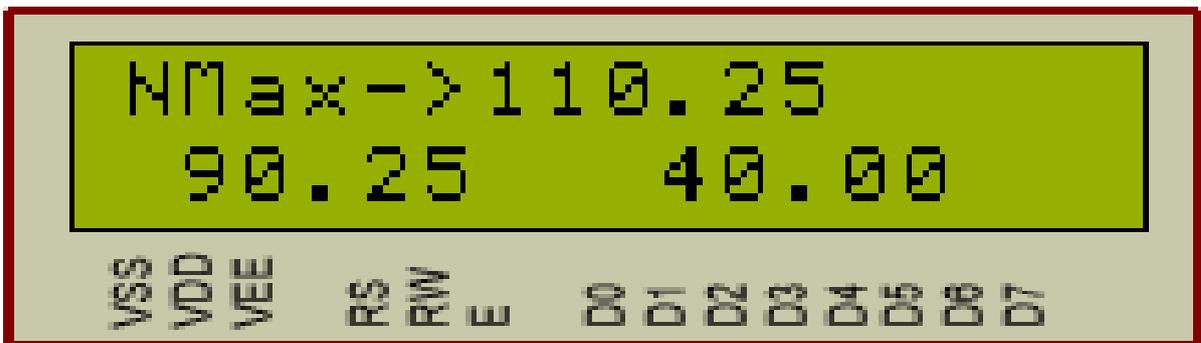
En esta opción se realiza el mismo procedimiento que en la primera, con la diferencia que la altura del tanque se debe introducir de forma manual usando los números del display y después presionando la tecla **#**. Ya configurado el parámetro se debe salir del menú de calibración, esto se realiza presionando la tecla **C**. Seguido se muestra en el display el modo en que se encuentra el sistema (Modo Manual) y el porcentaje de llenado. Ver figura 51.

Figura 50. Encendido de bomba



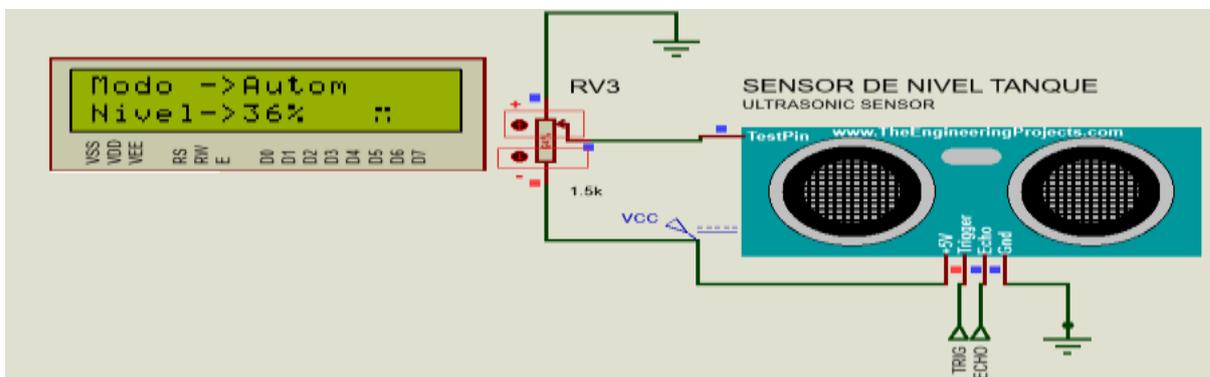
Para cambiar de modo Manual a Automático y viceversa se debe presionar la tecla **A**. En el modo automático del sistema, el encendido y apagado de la bomba se realiza conforme a los parámetros de Setpoint nivel máximo y mínimo configurado. Para visualizar por 5 segundos estos parámetros se realiza presionando la tecla **1**. El primer valor que aparece es la altura máxima del tanque y Setpoint máximo y mínimo. Ver en la figura 52.

Figura 51. Parámetros de Setpoint



La simulación del nivel en el tanque se realiza con un potenciómetro conectado al sensor de ultrasonidos HC-SR04. Variando el valor de este potenciómetro se puede simular llenado y vaciado del tanque. Ver figura 53.

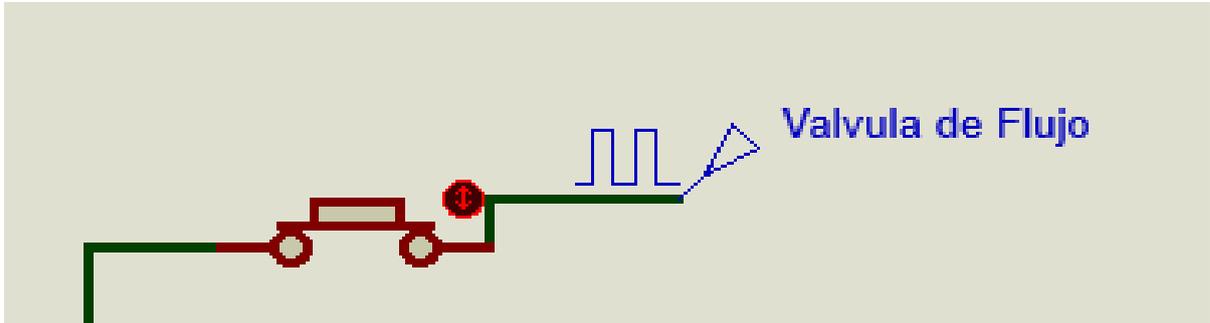
Figura 52: Simulación del nivel en el tanque



Ahora pasamos a explicar la simulación del caudal de salida con el sensor YF-S201. Este sensor está integrado con un sensor de efecto hall magnético, que genera un pulso eléctrico con cada revolución. En Proteus 2010 no existe este sensor, para simularlo usamos una señal del reloj

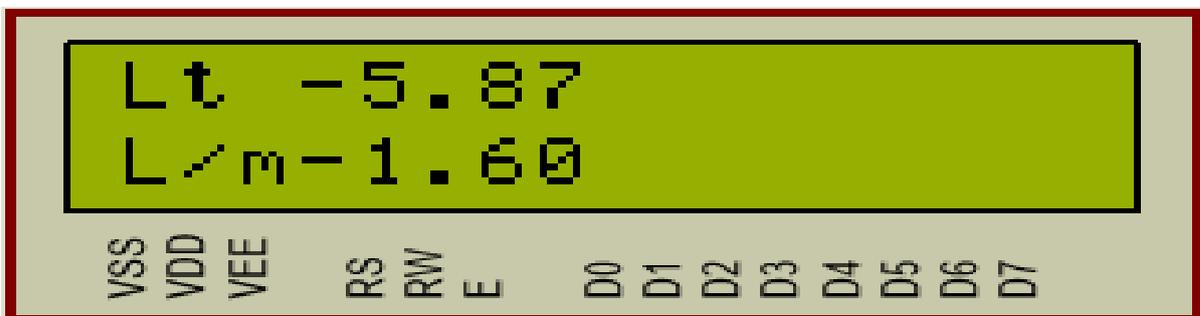
Con una frecuencia de 50HZ. Para simular que la válvula de salida de la tubería está abierta se debe presionar el botón como se muestra en la figura 54.

Figura 53. Simulación del caudal de salida con el sensor YF-S201



Para ver por 5 segundos la medición del caudal, así como los litros de agua consumidos se presiona la tecla **2**. Ver figura 55.

Figura 54. Medición del caudal



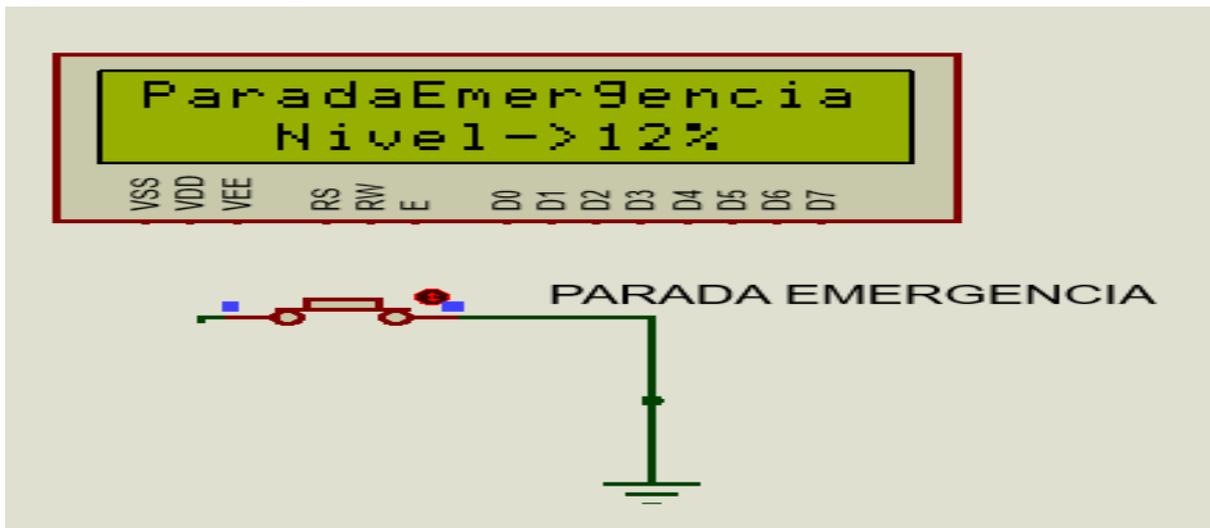
El tanque de reserva cuenta con un sensor nivel de agua tipo flotador cuando este detecta que no tiene el agua suficiente para bombear el sistema se detiene y muestra un mensaje en el LCD, funciona de la misma forma en los dos modos (automático y manual). Para simular que no existe agua suficiente en la simulación se debe presionar el botón FLOTADOR. Ver figura 56.

Figura 55. Sensor nivel de agua tipo flotador



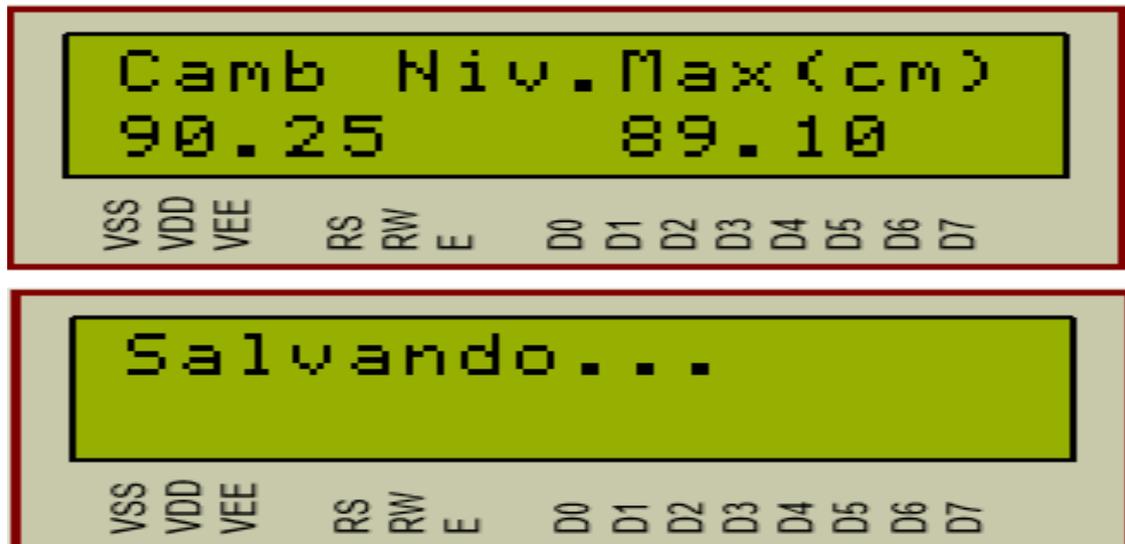
Todo sistema automático debe tener un botón de parada de emergencia por si ocurre algo inesperado. Esto se simula presionando el botón PARADA EMERGENCIA el sistema muestra un mensaje indicando que se detuvo el sistema, funciona de la misma forma en los dos modos (automático y manual). Para volver a funcionamiento normal del sistema se presiona la tecla #. Ver en la figura 57.

Figura 56. Parada de emergencia



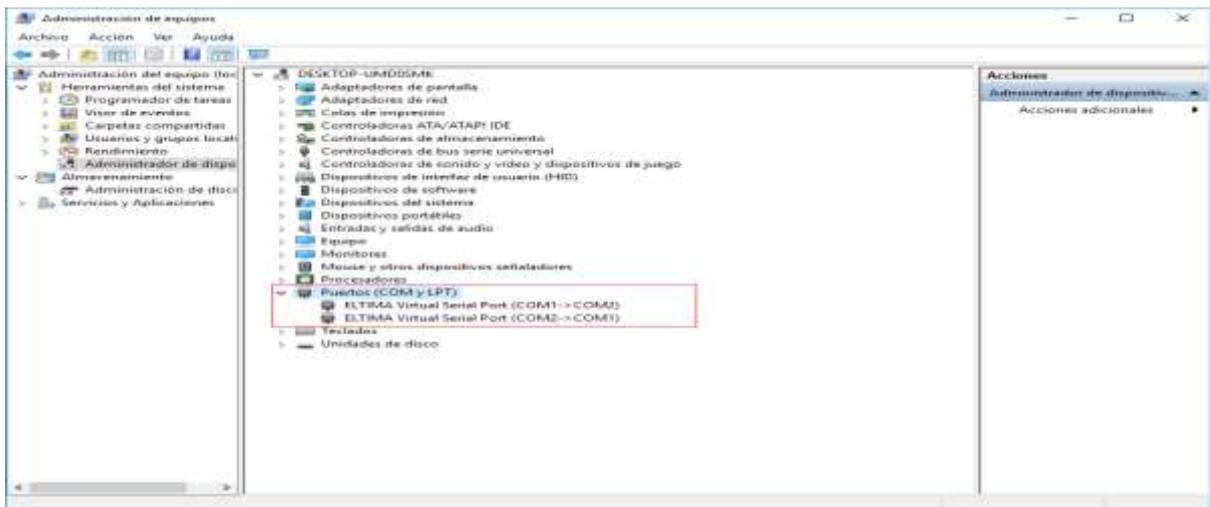
Por último, si se quiere modificar los parámetros de Setpoint, nivel de alarma y factor de conversión de forma manual se debe presionar la tecla B. Cuando se presiona esta tecla se muestra en el display un menú con 4 opciones. Entramos en la primera opción presionando la tecla #, se muestra un mensaje de cambio del Setpoint de nivel máximo en cm y se muestra el valor que tiene este. Con las teclas de los números se puede introducir el nuevo valor, si es un número real se puede usar la tecla * como el punto (90.25). Si se desea cancelar el número introducido y salir de esa opción se presiona la tecla B. En el caso que se desee modificar el valor y guardarlo se presiona la tecla #, debe aparecer el mensaje de Salvando, si esto no ocurre es que el valor introducido no es correcto (en el caso de SetPoint máximo tiene una validación, el valor debe ser menor 20 cm que la altura máxima del tanque y 20 cm mayor que el Setpoint nivel mínimo). Esta secuencia es válida para las demás opciones. Ver lo explicado en la figura 58.

Figura 57. Parámetros de Setpoint



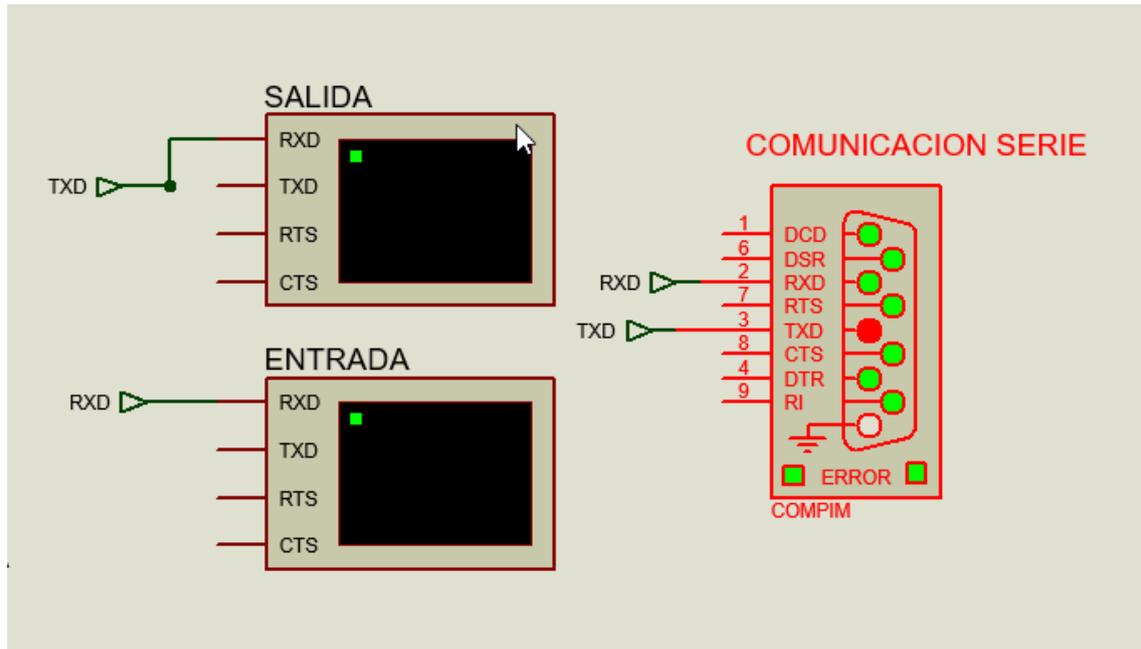
Se explica la simulación de la interfaz HMI de LabView 2020 conectada la simulación en Proteus 2010. Para lograr la simulación en un mismo computador nos auxiliamos del software Configure Virtual Serial Port Driver, en este se puede realizar una conexión interna de los puertos series COM1 y COM2. Ver figura 59.

Figura 58. Simulación de la interfaz HMI de LabView 2020



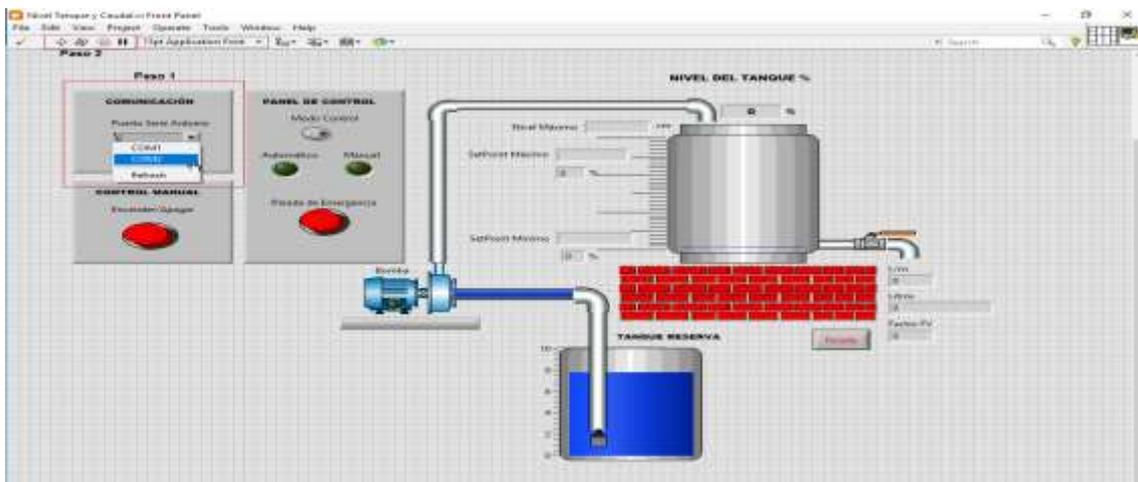
Para simular una conexión serie en Proteus, se usa el componente COMPIM donde se configura el Puerto COM1. También se usó 2 componentes Virtual Terminal para poder visualizar la salida y entrada del puerto serie del Arduino. Ver Figura 60.

Figura 59. Componente COMPIM



Para poder comunicar la interfaz HMI programada en LabView con la simulación del Proteus se debe configurar el puerto serie COM2 (**paso 1**). Después de esta configuración se debe de ejecutar la simulación (**paso 2**). Muy importante debe estar ejecutada la simulación en Proteus. Ver la figura 61.

Figura 60. Simulación en Proteus



Después de ejecutada interfaz HMI pasamos a explicar sus partes y cómo funcionan. Consta de 3 paneles de control, el primero (Comunicación) fue explicado en la figura 15. Como segundo (Panel de control), aquí aparece un botón (Modo de control) para cambiar de modo automático a manual y viceversa y dos leds indicadores para cada uno de estos modos.

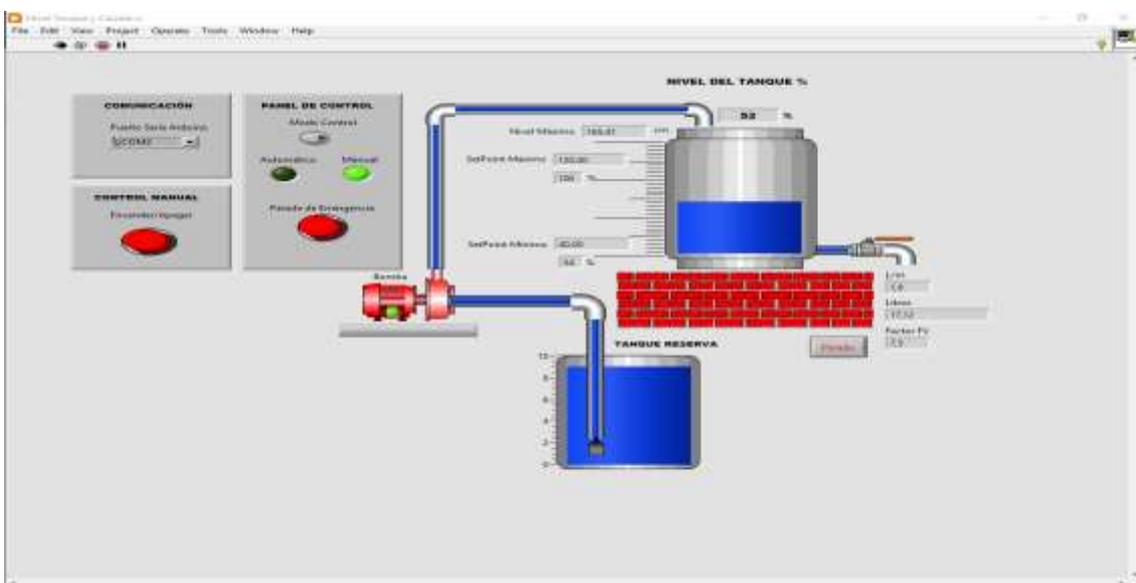
También este segundo panel tiene un botón en rojo (Parada de emergencia) para detener el sistema ante cualquier eventualidad. El tercer panel (Control manual) tiene un botón que tiene como función encender y apagar la bomba solo en modo (Manual). Cuando se presiona si la bomba está apagada se enciende si está encendida se apaga. Ver figura 62.

Figura 61. Paneles de control



Esta interfaz HMI consta con una parte de visualización de todos los datos del prototipo. Esta se compone, dos tanques (reserva y control), bomba de agua, tuberías e indicadores para visualizar los parámetros de configuración. El tanque de reserva si esta de color azul indica que tiene agua (si está de color rojo indica que no tiene agua y el sistema muestra en el display un mensaje y no se puede encender la bomba) y el tanque de control va a mostrar el porcentaje de llenado. Si la bomba está encendida se muestra en color rojo y las tuberías muestran un color azul. En el caso de los indicadores visualizan todos los parámetros configurados. Ver figura 63.

Figura 62. Interfaz HMI

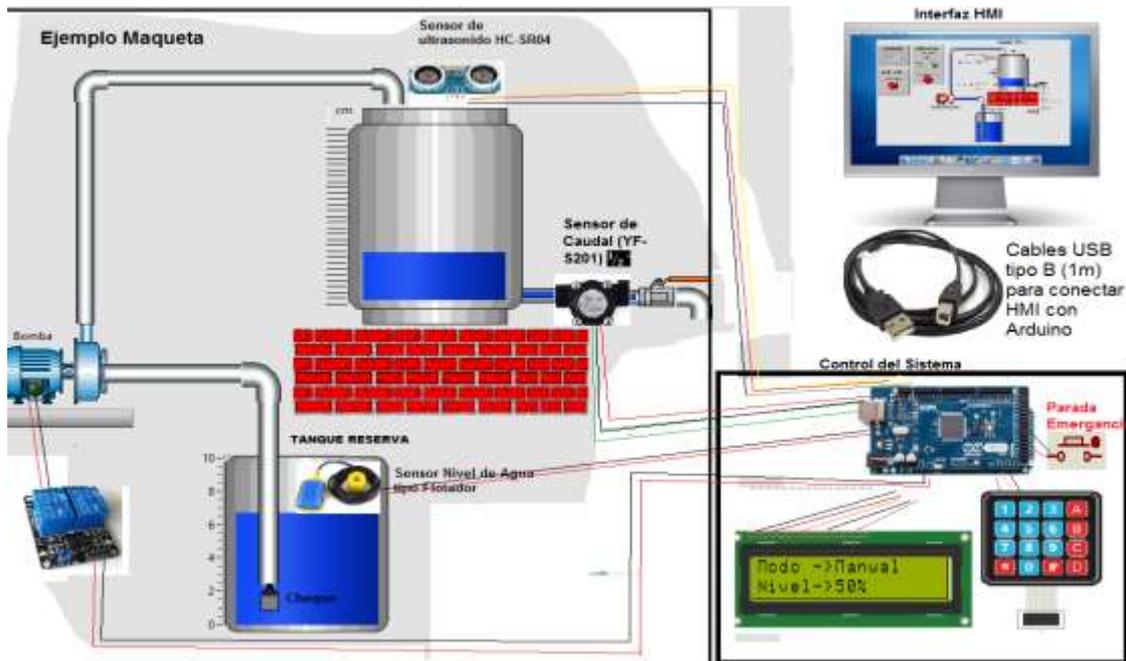


Anexo 3. Manual de Construcción.

Explicación general del prototipo

El prototipo del sistema control biestable debe ser un modelo bastante resistente y robusto. Este sistema consta de 2 tanques: Un tanque reservorio para la contención del agua, el cual debe ser diseñado con las siguientes dimensiones (propuesta): 60 cm de ancho, 40 cm de largo y 20 cm de alto; y un tanque para realizar el control de nivel de líquido en el que se efectúa la práctica de laboratorio. Sus dimensiones son (propuesta): 20 cm de ancho, 20 cm de largo y 60 cm de alto.

Figura 63. Prototipo

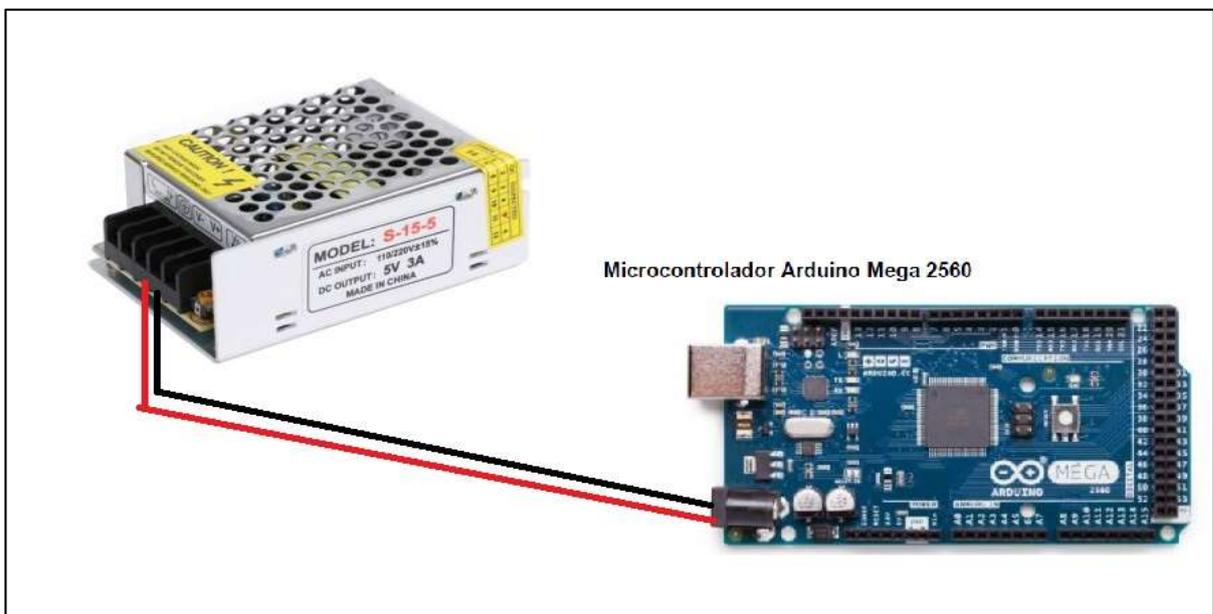


La construcción de los tanques requiere de cuidado y dedicación puesto que, para el trabajo y la manipulación de líquidos, los tanques tienen que estar sellados. Los tanques se deben fabricar con placas de acrílico u otro material que se pueda ver el líquido. El tanque reservorio debe poseer una bomba, que extrae líquido desde el tanque reservorio a través de una manguera y lo lleva hasta al tanque de control.

El tanque de control cuenta con un sensor de ultrasonido HC-SR04, que se encargan de determinar el nivel de agua. Estos sensores presentan una excelente supresión de fondo y cierta inmunidad ante todo tipo de impurezas del aire dentro de los tanques, por ende, no perturban el tipo de mediciones que se realizan sobre el líquido. La salida de este tanque pasa por un sensor de flujo YF- s201 el cual determina la cantidad de líquido que está saliendo en un tiempo determinado. Para el control del sistema se va a utilizar el Arduino mega conectado a él un display LCD y un teclado matricial. Como interfaz HMI un ordenador. A continuación, una foto que ilustra la estructura del sistema.

Ahora se pasará a explicar las conexiones que se deben hacer para un correcto funcionamiento del sistema automático. Lo primero es alimentar el Arduino Mega con una fuente 5V a 1A o superior. Ejemplo en la foto

Figura 64. Conexiones

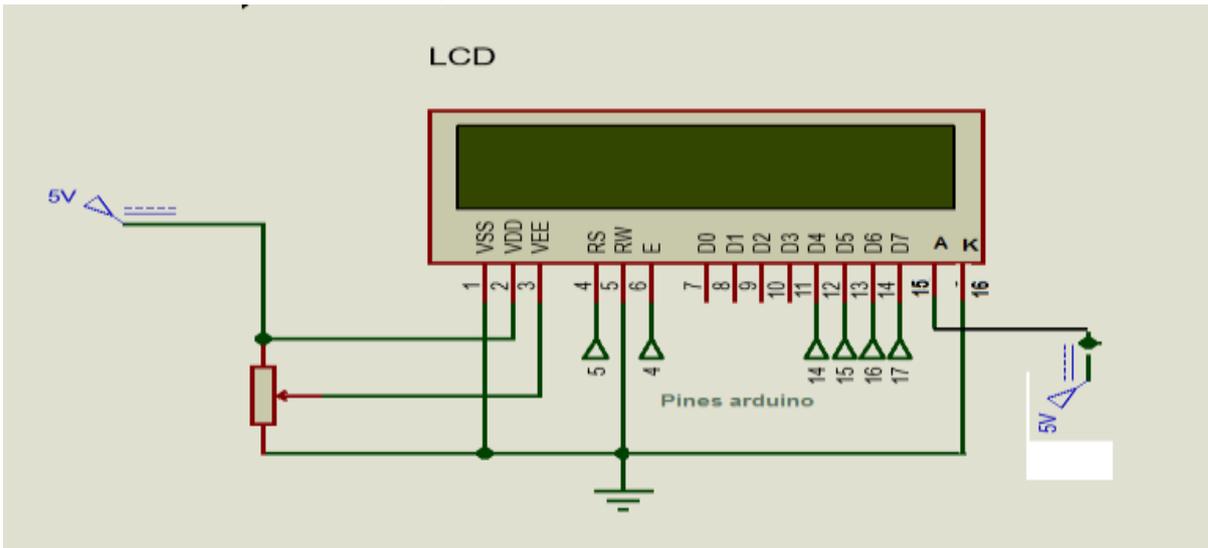


A continuación, se debe soldar cables finos al display LCD y conectarlo a los pines del Arduino Mega. El display LCD tiene 16 pins. Las funciones de los pins se describen a continuación:

- Pins 1-2: Alimentación +5V
- Pin 3: Voltaje para el contraste de la pantalla +5V. Se debe poner un potenciómetro para regular el contraste 10k.
- Pin 4: RS (Register Select) controla la memoria del display.

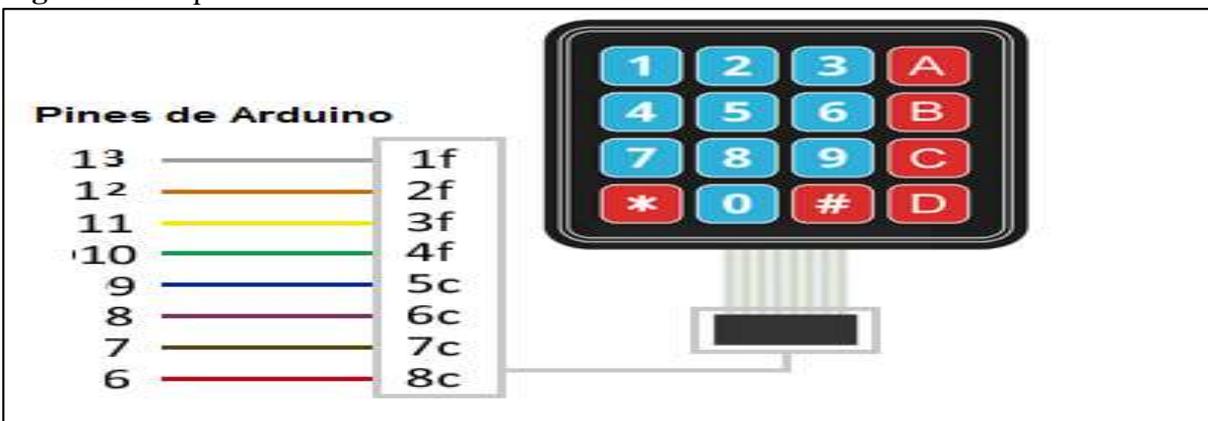
- Pin 5: R/W (Read/Write) Selecciona modo escritura o modo lectura.
- Pin 6: Enable. Habilitar o deshabilitar la escritura del display.
- Pins 7-8-9-10-11-12-13-14: Bus de datos de 8 bits usaremos 4 bits del bus de datos (D4, D5, D6, D7). Los pins restantes del bus de datos se dejan sin conectar.
- Pins 15 Habilitar retroiluminación aplicando +5V.
- Pins 16 Habilitar retroiluminación tierra.

Figura 65. Pines del Arduino Mega



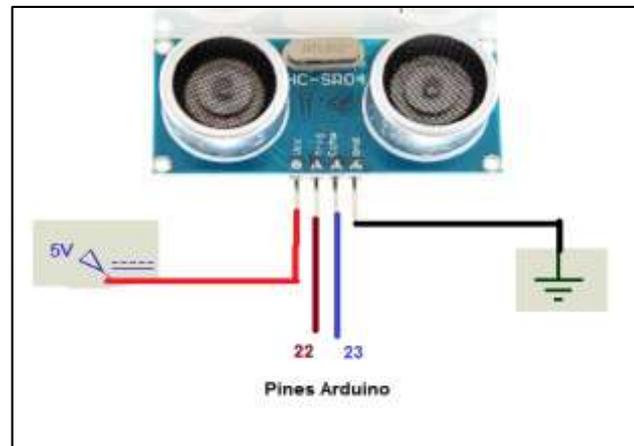
El esquema de conexión del teclado matricial es sencillo conectamos todos los pines a entradas digitales de Arduino. Se muestra en la siguiente figura

Figura 66. Esquema de conexión del teclado matricial



Para conectar sensor de ultrasonidos HC-SR04 se realiza de la siguiente forma pin Echo y Trigger van a los pines 22 y 23. En la foto se muestra la conexión.

Figura 67. Pin Echo y Trigger

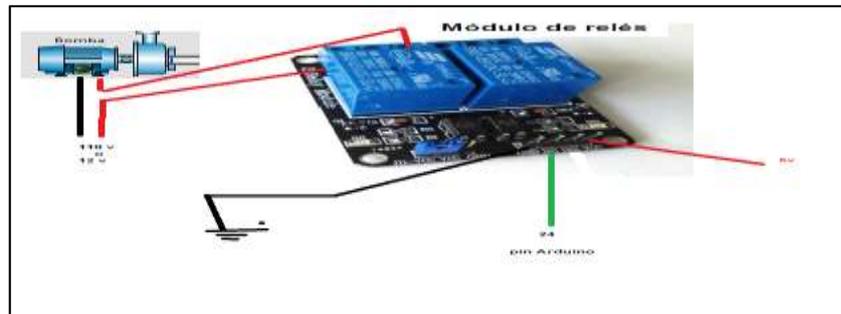


Ahora pasamos a la conexión del CAUDALIMETRO YF-S201. Todos los modelos tienen tres cables para su conexión, rojo y negro para la alimentación y amarillo para la salida de los pulsos. En la foto se muestra la conexión.

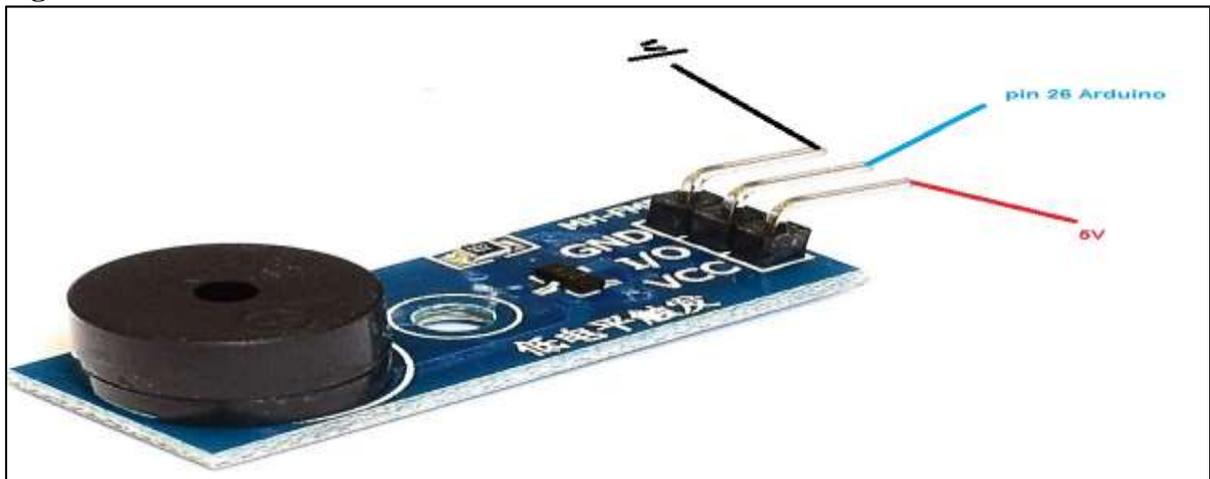
Figura 68. Conexión del CAUDALIMETRO YF-S201



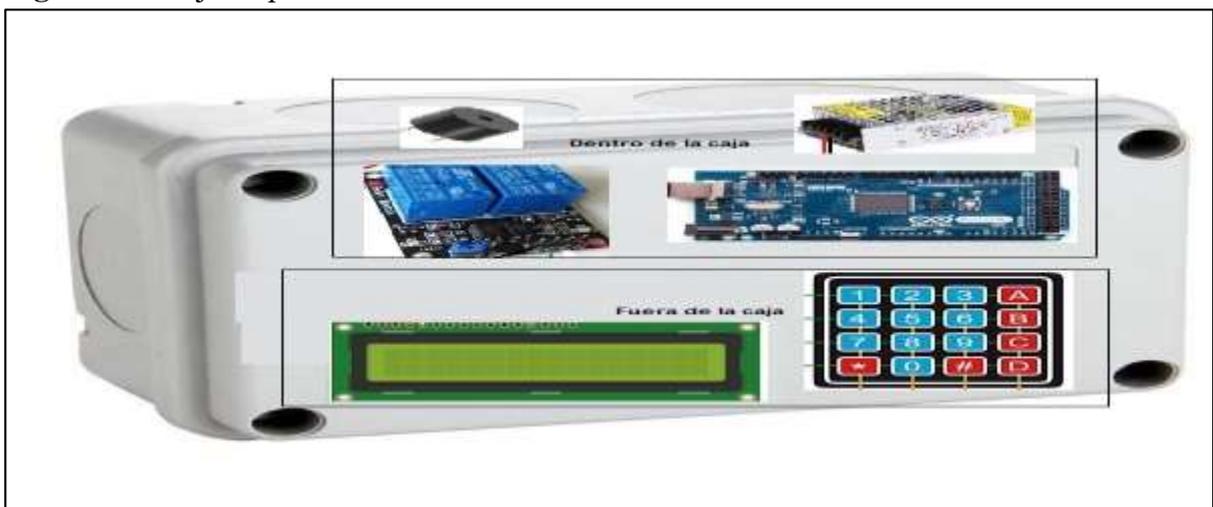
Para la conexión de la bomba se debe realizar de la siguiente forma como muestra en la imagen.

Figura 69. Conexión de la bomba

Para la conexión del Buzzer de la Alarma se puede realizar de varias formas, si se tiene el módulo de Arduino es más fácil ver la figura.

Figura 70. Conexión del Buzzer de la Alarma

Se debe colocar todos los componentes de control dentro de una caja de paso Plástica de las siguientes dimensiones 100x100x70 mm o más grande en caso de que se coloque la fuente de poder dentro. En la figura se muestra un ejemplo.

Figura 71. Caja de paso Plástica

Anexo 4. Reporte Ouriginal



Document Information

Analyzed document	Tesis Añon y Grandes_2.docx (D111540193)
Submitted	8/21/2021 7:24:00 PM
Submitted by	
Submitter email	yoandrys.morales@uc.edu.ec
Similarity	1%
Analysis address	yoandrys.morales.unc@analysis.unkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://docplayer.es/64207713-Universidad-autonoma-del-estado-de-mexico-centro-universitario-usem-tescoco.html Fetched: 1/7/2020 8:50:16 PM	 1
W	URL: http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5813/1/25T00277.pdf Fetched: 12/20/2020 12:29:32 AM	 1
SA	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI / TESIS-CEVALLOS CAISA RONAL ESTIB-CUCHIPE MUSO KLEVER JOSUE.docx Document TESIS-CEVALLOS CAISA RONAL ESTIB-CUCHIPE MUSO KLEVER JOSUE.docx (D64548773) Submitted by: paco.vasquez@utc.edu.ec Receiver: paco.vasquez.unc@analysis.unkund.com	 2
W	URL: https://core.ac.uk/download/pdf/143468636.pdf Fetched: 3/15/2020 7:03:54 AM	 3

1/44