



**UNIVERSIDAD ESTATAL  
PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y  
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TECOMUNICACIONES**

**TEMA**

**“MÓDULO DE CONTROL APLICANDO TECNOLOGÍA FPGA PARA  
EL ANÁLISIS DEL PROCESO DE MEZCLA DE POTABILIZACIÓN DEL  
AGUA, NIVEL DE PH Y CONTROL DE FLUJO”**

**TESIS DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

Previo a la obtención del Título de  
**INGENIERA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**AUTOR:**

**DE LA A SALINAS LEONELA DEL ROCIO**

**TUTOR:**

**ING.VERA GONZALEZ SENDEY AGUSTIN**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2015**

## **APROBACIÓN DEL TUTOR**

En mi calidad de Tutor del trabajo de titulación denominado, “**MÓDULO DE CONTROL APLICANDO TECNOLOGÍA FPGA PARA EL ANÁLISIS DEL PROCESO DE MEZCLA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA, NIVEL DE PH Y CONTROL DE FLUJO**” elaborado por la señorita egresada .De La A Salinas Leonela, de la Carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, la apruebo en todas sus partes y autorizo al estudiante para que inicie los trámites legales correspondientes.

La Libertad, agosto del 2015

**Atentamente**

---

**Ing. Sendey Vera.**

**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

Primero a Dios quien me ha dado la sabiduría y fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día, por guiarme por buen camino y me ha permitido desarrollar todos los proyectos en el transcurso de mi vida.

A mi respetable familia especialmente a mis padres Guillermo y Azucena a quienes amo con mi vida, por confiar en mí y haberme guiado e inculcado principios ya que gracias al amor, comprensión, ayuda y apoyo incondicional que me dieron durante toda mi carrera me alentaron a alcanzar la meta anhelada .

A cada uno de mis hermanos a quienes quiero y respeto mucho en especial a Sandra por su cariño y voz de aliento que me ayudó a continuar hacia adelante sin desmayar en mi formación. A quienes siempre estuvieron a mi lado apoyándome y ayudándome.

A mis amigos por acompañarme, a todos por entenderme y comprenderme y ayudarme a culminar esta etapa de mi vida.

De La A Salinas Leonela

## **AGRADECIMIENTO**

Mis planes para ustedes solamente yo lo sé, y no son para su mal, sino para su bien. Voy a darles un futuro lleno de bienestar. (Jeremías 29:11)

Deseo mostrar mi más sincero sentimiento de gratitud a todos aquellos que con su ayuda han hecho posible la realización de este proyecto especialmente:

A Dios y a la vida por permitir el desarrollo y culminación de este trabajo y terminar este ciclo de estudios e iniciar con nuevos retos.

A mis queridos padres, hermanos, demás familiares por darme el soporte y su continuo apoyo para terminar esta carrera y alentarme. A nuestro profesor y amigo el Ing. Sendey Vera, a quien respeto y estimo por sus conocimientos, asesoramientos, comprensión, ayuda, paciencia, optimismo y colaboración brindada.

También a todos los docentes por habernos impartido sus amplios conocimientos con respeto, vocación y sobre todo por resaltar los valores que hacen de nosotros mejores personas. A mis compañeros y amigos con quienes compartí una aula de clases y nunca olvidaré.

De la A Salinas Leonela

## **TRIBUNAL DE GRADO**

---

Ing. Walter Orozco, MSc.  
Decano de Facultad

---

Ing. Washington Torres, MSc.  
Director de Carrera

---

Ing. Sendey Vera González  
Profesor -Tutor

---

Ing. Samuel Bustos Gaibor  
Profesor Área

---

Ab. Joe Espinoza Ayala.  
Secretario General

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES  
CARRERA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“MÓDULO DE CONTROL APLICANDO TECNOLOGÍA FPGA PARA  
EL ANALISIS DEL PROCESO DE MEZCLA DE POTABILIZACIÓN  
DEL AGUA, NIVEL DE PH Y CONTROL DE FLUJO”**

**Autor: Leonela De la A**

**Tutor: Ing. Sendey Vera**

**RESUMEN**

En este trabajo se realiza el estudio sobre control de procesos con las tecnologías de FPGA y arduino, está centrado en el proceso de potabilización del agua, el nivel de pH y el control de flujo, este módulo didáctico consta de ocho sensores, cinco sensores ultrasónico para nivel (SFR04), un sensor de pH (Quality), un sensor de flujo (fs. 300-a), un sensor de temperatura (termistor), cada uno de estos sensores detectan una magnitud física que es traducida a un nivel voltaje que representa un valor en un display 16x2 LCD correspondiente a la parte de adquisición de datos.

En este módulo se plantea como monitorear los datos en pantalla utilizando el algoritmo de programación y los dispositivos transductores de señal. Se explica detalladamente los distintos tipos de proceso como el control de flujo, nivel de llenado, y de nivel de pH.

Este trabajo se ha fundamentado en la simulación de controladores basado en procesos utilizando las herramientas quartus II y arduino, se aplica al uso de técnicas de control automático de procesos que tiene como origen la tecnificación de medición y control aplicadas al ambiente industrial, es por eso que se usa los sistemas de control automático. La simulación de procesos en esta investigación está dirigida en control on - off con la función de incrementar o disminuir el niveles de los tanques la lógica está compuesta en la relación de comparación las medida de niveles.

## ÍNDICE GENERAL

<b>N.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página.</b>
	APROBACIÓN DEL TUTOR	I
	DEDICATORIA	II
	AGRADECIMIENTO	III
	TRIBUNAL DE GRADO	IV
	RESUMEN	V
	ÍNDICE DE FIGURAS	IX
	INDICE DE TABLAS	XI
	INTRODUCCIÓN	1
	CAPÍTULO I	3
1.	MARCO REFERENCIAL	3
1.1.	IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.2.	SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA	4
1.3.	JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.	5
1.3.2.	TÉCNICA	6
1.4.	OBJETIVOS.	6
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL.	7
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	7
1.5.	HIPÓTESIS.	7
1.6.	RESULTADOS ESPERADOS.	8
	CAPÍTULO II	9
	MARCO TEÓRICO	9
2.	MARCO TEÓRICO	9
2.1.	ANTECEDENTES	9
2.1.1.	HISTÓRICO	10
2.2.	BASES TEÓRICAS.	11
2.2.1.	TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN	12
2.2.2.	CONTROL	12
2.2.3.	CONTROL DE PROCESOS	13
2.2.4.	TIPOS DE SENSORES.	14
2.2.5.	MEDIDA DE FLUJO O CAUDAL	16

2.2.7. MEDIDAS DE NIVEL	18
2.2.8. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.	20
2.2.9. SISTEMAS DE CONTROL	24
2.2.10. VARIABLES QUÍMICAS.-	24
2.2.11. pH.-	24
2.2.12. FPGA.	25
2.2.11. PARTES DE UN FPGA	26
2.2.12. ARDUINO	27
2.3. VARIABLES	30
2.3.1. VARIABLES INDEPENDIENTE	30
2.3.2. VARIABLES DEPENDIENTE	31
2.4. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN	32
2.5. TÉRMINOS BÁSICOS.	34
CAPÍTULO III	37
ANÁLISIS	37
3. ANÁLISIS	37
3.1. DIAGRAMA DE PROCESO	37
3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS	38
3.2. IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS	41
3.3. ANÁLISIS DEL SISTEMA MODULAR.	41
3.3.1. ANÁLISIS TÉCNICO	43
3.3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO	45
3.3.3. ANÁLISIS OPERATIVO	49
3.4. VIABILIDAD	49
3.4.1 Viabilidad Económica	49
3.4.2. Viabilidad Técnica.	50
3.4.3. Viabilidad RR.HH.	50
CAPÍTULO IV	51
DISEÑO	51
4. DISEÑO.	51
4.1. ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.	53
4.1.1. ESTADO INICIAL Y CAPACIDAD DE VOLUMEN DE LOS TANQUES.	53

4.1.2.	DISEÑO PARA LA MEDIDA DE NIVEL CON ULTRASÓNICO HC-SR04.	54
4.1.3.	DISEÑO PARA LA MEDICIÓN DEL FLUIDO	57
4.1.4.	DISEÑO PARA PRESENTACIÓN DE DATOS EN LCD 16 X 2.	58
4.1.6.	DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DEL FLUIDO	61
4.1.7.	DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDIDA DE NIVEL DE pH.	62
4.1.9.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MODULAR	64
4.1.10.	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRODINÁMICO	66
4.1.11.	LÓGICA DE CONTROL PARA EL NIVEL.	72
4.1.12.	LÓGICA PARA CONTROL DE FLUJO	76
	CAPÍTULO V	79
	IMPLEMENTACIÓN.	79
4.	IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL	79
4.1.	CONSTRUCCIÓN	79
4.2.11.	EXPERIMENTO 1	86
4.2.12.	EXPERIMENTO 2	89
4.3.	Documentación.	98
5.4.	Demostración de Hipótesis.	98
	CONCLUSIONES	99
	RECOMENDACIONES	101
	BIBLIOGRAFÍA	102
	ANEXO	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>N.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página.</b>
	Figura 1: Módulo didáctico de automatización	12
	Figura 2: Esquema de un lazo de control abierto	13
	Figura 3: Resistencia baja y el flujo de corriente aumentan	18
	Figura 4: Sensor de nivel	19
	Figura 5: Transmisores de nivel por ultrasonidos	20
	Figura 6: Válvulas industriales	21
	Figura 7: Tipos de electroválvulas	22
	Figura 8: Partes de una electroválvula	22
	Figura 9: Estructura interna de la electroválvula	23
	Figura 10: Partes de una FPGA	26
	Figura 11: Arduino	28
	Figura 12: Características arduino uno y arduino mega 2560	28
	Figura 13: Diagrama de procesos	38
	Figura 14: Diagrama de bloques con FPGA	51
	Figura 15: Diagrama de bloques con arduino	52
	Figura 16: Cobertura ultrasónica	54
	Figura 17: Diseño de ubicación para sensores ultrasónicos	55
	Figura 18: Esquema de interconexión de sensores con arduino	56
	Figura 19: Sensor de flujo FS300a	57
	Figura 20: Esquema de interconexión de lcd con arduino	58
	Figura 21: Pines de selección de la DEO nano	59
	Figura 22: Diseño de adaptación para control de bomba	60
	Figura 23: Electroválvula	61
	Figura 24: Posicionamiento de lectruvalvulas en las tuberias	62
	Figura 25: Sensor de pH	63
	Figura 26: Modulo disparador de relé	64
	Figura 27: Esquema básico frontal del modulo	65
	Figura 28: Area de los dispositivos e implementos en el módulo	65
	Figura 29: Medidas y parte trasera del módulo	65
	Figura 30: microcontroladores, controladores y sensores	65

Figura 31: Descripción física del sistema automatizado	66
Figura 32: Simulación en proteus	72
Figura 33: Diagrama de flujo de procesos	75
Figura 34: Diagrama de lazo cerrado de control de fluido	76
Figura 35: Diagrama de flujo de procesos	78
Figura 36: Características del panel	79
Figura 37: Panel de operación frontal	80
Figura 38: Panel de operación posterior	80
Figura 39: Conexión de módulo de control	81
Figura 40: Adaptación de pines a la tarjeta	81
Figura 41: Conexión de interfaz con el LCD 16*2	82
Figura 42: Circuito controlador	82
Figura 43: Caja de breaker	83
Figura 44: Módulo didáctico para simulación de potabilización	83
Figura 45: Diseño de adaptación para control de bomba	84
Figura 46: Resultado de los cambios de voltaje generado por el variador	84
Figura 47: Lectura de ultrasónico	87
Figura 48: Lectura de ultrasónico en LCD	87
Figura 49: Diseño para experimentos	89
Figura 50: Verificación de la presión generado por el caudal	90
Figura 51: Presentación en lcd del volumen	90
Figura 52: Presentación en lcd del volumen prueba	91
Figura 53: Comunicación serial	91
Figura 54: Medida de volumen de flujómetro vs ultrasónico	92
Figura 55: Volumen del tanque vs ultrasónico	92
Figura 56: Volumen del flujómetro	94
Figura 57: % del variador Dimmer vs Volumen del flujo	94
Figura 58: Volumen vs altura ultrasónico	95
Figura 59: Tiempo vs altura ultrasónico	96
Figura 60: Error de caudal	97

## INDICE DE TABLAS

<b>N.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página.</b>
	Tabla 1: Sensores y métodos de detección para las magnitudes más frecuentes	15
	Tabla 2: Símbolos de electroválvulas	23
	Tabla 3: Variables Independientes	30
	Tabla 4: Variables dependientes	31
	Tabla 5: Especificaciones generales de los dispositivos en el sistema	42
	Tabla 6: Hardware para el desarrollo	43
	Tabla 7: Hardware para el desarrollo	43
	Tabla 8: Hardware para la implementación	44
	Tabla 9: Software para el desarrollo	45
	Tabla 10: Costo del hardware	46
	Tabla 11: Costo de accesorios adicionales	47
	Tabla 12: Costo total del hardware	47
	Tabla 13: Costo de requerimientos de Software	48
	Tabla 14: Costo total del proyecto	48
	Tabla 15: Asignación del puerto arduino para los sensores ultrasónicos	56
	Tabla 16: Asignación del puerto arduino para el sensor de flujo	58
	Tabla 17: Especificaciones de puertos para LCD	59
	Tabla 18: Especificaciones de la válvula	61
	Tabla 19: Distribución de entradas y salidas	85
	Tabla 20: H de ultrasónicos	86
	Tabla 21: Prueba del sistema	88
	Tabla 22: Variación del volumen y del flujo	93
	Tabla 23: Variación de volumen y del caudal	95
	Tabla 24: % de variación de caudal	96
	Tabla 25: Resultados del experimento	97

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>N.</b>	<b>Descripción</b>
-----------	--------------------

	Anexo 1.Certificado de revisión gramatical
--	--

	Anexo 2.Carta Aval para aplicación del proyecto
--	---

	Anexo 3.Imágenes del módulo
--	-----------------------------

	Anexo 4.Programacion de control de flujo
--	--

	Anexo 5.Datasheet
--	-------------------

	Anexo 6.Manual de usuario
--	---------------------------

	Anexo 7.Palabras claves
--	-------------------------

## INTRODUCCIÓN

Los módulos didácticos son indispensables para la educación debido a que es un nuevo método de enseñanza para poder afianzar conocimientos adquiridos en el aula de clases, hoy en día aparecen nuevos métodos y nuevas tecnologías útiles para el desarrollo de nuevos conocimientos y a la vez permite que los estudiantes comprueben teorías de lógica de control.

La universidad no es la excepción para que en el laboratorio exista un módulo didáctico con fines educativos y demás equipos tecnológicos necesarios para el desarrollo de sistemas de control automático, esta tesis es una estrategia clave para mejorar la competitividad en la educación, que consiste en el desarrollo de un módulo didáctico cuya aplicación está enfocada hacia el control de procesos, mediante la implementación de un sistema, construido con las herramientas basadas en la “FPGA” y arduino.

El estudio se desarrolla en cinco capítulos:

En primer capítulo: Se plantea el problema detallando las necesidades para implementar esta técnica de control de procesos en el laboratorio, objetivos generales y específicos, a partir de estos se planteó la hipótesis.

En segundo capítulo: Detalla el marco teórico, antecedentes, bases teóricas, principios, funcionamiento, características importantes, necesarias en la investigación.

En tercer capítulo se desarrolla el análisis de procesos, diagramas de bloques.

En el cuarto capítulo: Muestra el diseño del módulo e interfaz describiendo las características de cada etapa del proceso de simulación industrial.

El capítulo final, contiene la descripción de la construcción del módulo didáctico, se evalúan procesos de adquisición de datos y de control para determinar la eficiencia de cada una de las etapas. Se implementa una plataforma e interface de comunicación hombre máquina, en la que se lleva a cabo el monitoreo y control de líquido del sistema.

Este proyecto es de gran utilidad, no solo para el buen desempeño del laboratorio de Electrónica y Telecomunicaciones, sino que también ayuda a la formación de los profesionales y a fomentar el desarrollo tecnológico, aportando con nuevas ideas de productividad en el área de control.

La carrera de Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, cuenta con una mínima cantidad de dispositivos, implementos y módulos electrónicos. Atendiendo a este problema se optó por el presente proyecto cuyo objetivo principal es la implementación de un módulo didáctico para la simulación de procesos utilizando controladores programables, dirigido hacia el control de nivel en el llenado de tanques mediante las herramientas FPGA y arduino para uso en el laboratorio de electrónica de la facultad.

# CAPÍTULO I

## MARCO REFERENCIAL

### 1. MARCO REFERENCIAL

Los sistemas de control de procesos industriales tienen un grado de programación complejo que depende de los equipos a utilizar, esto involucra el uso de dispositivos como PLC, variadores, reguladores.

Permitiendo determinar el costo sobre la implementación de un sistema de control industrial. Existen otros tipos de tecnología para el control procesos, entre ellos se encuentran los circuitos lógicos programables, que son núcleos importantes para la manipulación de variables y obtención de datos.

Los circuitos programables como la FPGA y el arduino son dispositivos que permiten realizar diferentes tipos de control, estos sistemas embebidos permiten la adquisición de datos en tiempo real en una práctica de laboratorio de instrumentación o de sistemas digitales.

#### 1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Se ha notado que en la facultad faltan equipos de instrumentación para poder realizar prácticas que simulen procesos de control industrial con fines didáctico.

El procesos de la mezcla de potabilización del agua requiere de sensores de nivel pH y actuadores de control de flujo entre otros, estos proveen de información sobre los sistemas de adquisición de datos en tiempo real; son elementos necesarios que sirven para afianzar los conocimientos teóricos y prácticos de un proceso de control industrial .

Debido a los conocimientos sobre sistemas de control que se exigen hoy en día, surge la necesidad de disponer de sistemas de capacitación modernos, orientados a la práctica, que muestren a los estudiantes el estado actual de las técnicas y le transmitan la habilidad necesaria para poder actuar por sí mismos.

A pesar de que existen equipos de medición en el laboratorio no hay ninguno en especial que represente la automatización de potabilización del agua, debido a la complejidad del desarrollo de módulos para procesos de control automático y la falta de presupuesto para la adquisición de equipos especializados para el control como sistema de enseñanza estos no han sido adquiridos hasta el momento.

La falta de un módulo de control es una desventaja para la formación profesional en el estudiante de la carrera por no observar y experimentar un proceso industrial. La necesidad de manipular variables de control y ejercer acciones correctivas en un proceso industrial, son algunas de las acciones que ejecuta el operario en una industria por tal razón se ven disminuidas las habilidades técnicas en el estudiante. Los módulos de aprendizaje son ejemplos prácticos que muestran cómo funcionan el control y la regulación en la técnica de automatización.

## **1.2. SITUACIÓN ACTUAL DEL PROBLEMA**

En la carrera de electrónica existen equipos de instrumentación, adquisición de datos, monitoreo de señales tales como Elvis II, FPGA, osciloscopio, multímetro, entre otros. Que son herramientas utilizadas para prácticas de laboratorio e investigación, pero no existen módulos educativos para experimentación de proceso de control y monitoreo de señales basadas en sistemas embebidos esta tecnología es aplicada en los diseños de control a nivel micro, los módulos didácticos de automatización son importante para incrementar conocimientos sobre instrumentación y control de procesos.

Los proyectos sobre control de procesos y automatismos constituyen un área fundamental para las asignaturas afines como: instrumentación, control y sistemas digitales, que incentiven a la educación en asignaturas planteadas en el área de electrónica y permitan obtener el conocimiento de nuevas tecnologías de automatización.

Los estudiantes no realizan ningún tipo de práctica con dispositivos de control para procesos automáticos la falta de implementos y módulos en el laboratorio de electrónica causa que se pierda efectividad sobre el conocimiento teórico adquiridos en el aula y deficiencia de aprendizaje en los procesos experimentales.

Las bondades que tiene un sistema de panel didáctico especializados en control sirven para aplicar diferentes métodos de enseñanza, basados en guías para el estudiante a través de la teorías y de experimentos dirigidos y claramente estructurados siendo estos de gran importancia para el aprendizaje de los estudiantes adquiriendo habilidades en el área de la electrónica para la simulación de procesos sistemas como estos son necesarios en un laboratorio para control. La carrera de electrónica y telecomunicaciones no cuenta con equipos como estos.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA.**

El módulo propuesto a desarrollar involucra que los estudiantes plasmen sus conocimientos de instrumentación y control de procesos aplicando las tecnologías para dispositivos reprogramables como arduino y FPGA con su respectivo software Quartus II y arduino.

Este proyecto se justifica principalmente por las características didácticas y técnicas:

#### **1.3.1. DIDÁCTICA**

Los estudiantes de la carrera de electrónica y telecomunicaciones se beneficiarán al implementar este sistema de producción modular debido a que la tecnología que emplea, es una de la más utilizadas a nivel universitario en todo el mundo. Las metodologías de enseñanza que no involucra experiencias prácticas en los estudiantes, tienden a disminuir la eficacia de aprender conceptos nuevos construir y evaluar de forma práctica un sistema de control de proceso, se justifica el módulo para que los estudiantes adquieran la experiencia y puedan aprovechar las bondades del módulo su tecnología aplicada en sistemas de control digitales y tecnología para procesos automatizados.

### **1.3.2. TÉCNICA**

Está dirigida hacia el control de procesos, mediante la implementación puesta en marcha, construido con la herramienta basado en “FPGA” y arduino, en la que intervienen procesamientos de señales tanto analógicas como digitales, se adquieren datos con los equipos para luego evaluar y tomar una acción de control y algo importante es la visualización de datos de magnitudes físicas en tiempo real en una práctica de laboratorio de electrónica. El estudiante no está familiarizado con el procedimiento que realiza un operario de control en una industria, el conocimiento técnico de los ajustes y calibraciones de equipos son técnicas que aprende el operario en cualquier proceso industrial.

El módulo didáctico es una simulación de proceso industrial por lo tanto ayudará con la toma de decisiones y aplicar el procedimiento correctivo que se deba llevar a cabo al momento de producirse un evento poco común. Es por eso que surge la necesidad de desarrollar un sistema modular que sea lo más cercano a un proceso industrial y que pueda proporcionarnos la información necesaria para tomar acciones concretas.

### **1.4. OBJETIVOS.**

#### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL.**

Implementar un módulo didáctico de simulación sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua mediante la tecnología FPGA y arduino para el área de laboratorio de la carrera de electrónica y telecomunicaciones de la UPSE.

#### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Estudiar la tecnología FPGA y arduino para seleccionar los dispositivos a utilizarse en el módulo didáctico de proceso de mezcla de la potabilización del agua.
- Estudiar los sensores y actuadores a utilizarse para el control flujo y monitoreo de pH y de nivel de líquido.
- Diseñar y construir módulo didáctico de control para la simulación del proceso de mezcla de la potabilización del agua.
- Diseñar la lógica de control y algoritmo para la codificación en lenguaje C y VHDL de los procesos de control y monitoreo.
- Desarrollar experimentos de control flujo y de nivel de líquido como instrumentación y adquisición de datos.
- Evaluar el proceso de monitoreo y control del módulo didáctico que cumpla la simulación de la potabilización de agua para obtener respuestas de las variables a desarrollarse en el sistema.

#### **1.5. HIPÓTESIS.**

El diseño e implementación del sistema de control electrónico de medición de niveles tiene eficiencia del 99% en los procesos de dosificación de agua.

## **1.6. RESULTADOS ESPERADOS.**

- Mediante el módulo se obtendrá el monitoreo de las magnitudes físicas utilizadas en el control de procesos de mezcla de la potabilización del agua.
- Se estima que el sistema de lógica de control y algoritmo para realizar el control de flujo del módulo didáctico sea lo más estable.
- Se espera que la estructura sea la adecuada y robusta para poder adaptar e instalar los elementos adicionales en el módulo.
- Se espera que el cableado de voltaje y el cableado de datos estén correctamente instalados con una estructura ordenada basada en paneles interconectados. Con este módulo se espera obtener un panel del control de nivel de volumen de líquido y nivel flujo utilizando tarjetas controladoras

# CAPÍTULO II

## MARCO TEÓRICO

### 2. MARCO TEÓRICO

El uso de las tecnologías como la FPGA y arduino, son tarjetas electrónicas para programación de alto nivel, estos sistemas embebidos proporcionan una plataforma tecnológica que son parcialmente utilizadas en procesos de sistemas industriales.

Los sistemas de paneles didácticos o módulos didácticos sobre control y automatización de procesos son útiles para afianzar conocimientos sobre teoría de control y lógica de programación entre otras, estos sistemas modulares también permiten realizar de forma práctica pruebas de adquisición de datos de las variables físicas utilizadas.

#### 2.1. ANTECEDENTES

En la carrera de electrónica y telecomunicaciones se puede aseverar que no existe información relevante que tenga similitud, con un módulo de control para el proceso de mezcla de potabilización del agua.

Los módulos didácticos utilizan típicamente interconexiones con PLC para el control de procesos industriales, otra manera para realizar control es en función de las tarjetas entrenadoras como FPGA y arduino.

Las tarjetas entrenadoras FPGA son herramientas didácticas empleadas para realizar prácticas de laboratorio de sistemas digitales por que utilizan puertas lógicas que son programadas mediante lenguaje. VHDL, son importantes para iniciar a los estudiantes al diseño de control lógico.

La tarjeta arduino mega es empleada para prácticas de laboratorio digital y de micro controladores que concluyen con proyectos de clases como la implementación de robot educativos, estas tarjetas entrenadoras sirven para que los estudiantes evalúen diseños de control con simulación.

### **2.1.1. HISTÓRICO**

El primer trabajo significativo en control automático fue el regulador de velocidad centrífugo de James Watt para el control de la velocidad de una máquina de vapor, en el siglo XVIII, Minorky, Hazen y Nyquist, entre muchos otros, aportaron trabajos importantes en las etapas iniciales del desarrollo de la teoría de control (Ogata K., 2010).

Estos avances del siglo XVIII, ayudaron a que se desarrollen nuevas tecnologías al paso del tiempo, hoy en día las industrias utilizan la teoría de control en diversos procesos para la manufactura de un producto. De esta manera se tiene diferentes sistemas de control automático aplicadas en las industrias, los sistemas de potabilización de agua son de vital importancia tanto que requiere de sistemas automatizados. Los procesos automáticos son analizados en prácticas de laboratorio en el establecimiento educativo así por ejemplo para una planta de fabricación se necesitan diferentes etapas de análisis de control con procesos separados, las herramientas que ayudan a afianzar el conocimiento de proceso automático son simuladores que representan una planta industrial en sus diferentes etapas. Estos simuladores son paneles didácticos que contienen bloques lógicos basados en diferentes tipos de control, que son usados en las universidades.

La implementación de este módulos contienen varios tipos de circuitos para el análisis de los procesos además contienen tarjetas microcontroladores como AT MEGA, FPGA, etcétera. Las FPGAs son el resultado de la convergencia de dos tecnologías diferentes, los dispositivos lógicos programables (PLDs y los circuitos integrados de aplicación específica. La historia de los PLDs comenzó con los

primeros dispositivos PROM y se les añadió versatilidad con los PAL, que permitieron un mayor número de entradas y la inclusión de registros. Estos dispositivos han ido creciendo en tamaño y potencia. El primer fabricante de estos dispositivos fue Xilinx y los dispositivos de Xilinx se mantienen como uno de los más populares en las compañías y grupos de investigación. Otros vendedores en este mercado son Atmel, Altera, AMD y Motorola.

El uso de herramientas de diseños modernos dispositivos lógicos programables complejos, CPLD y arreglos de compuertas programables por campo (FPGA) permite a los ingenieros progresar de teoría o conceptos al silicón funcional con mucha rapidez. Los micro controladores se están haciendo cargo de muchas aplicaciones que antes se implementaban mediante circuitos digitales, por lo que se ha estado usando la DSP para sustituir muchos circuitos análogos es sorprendente que los micro controladores, la DSP y todos los componentes lógicos necesarios puedan ahora consolidarse en una sola FPGA mediante el uso de un lenguaje de descripción de hardware con herramientas de desarrollo avanzadas (Neal S. Widmer, 2007).

Arduino nació por el año 2005 sin pensar que algunos años más tarde se convertiría en líder del mundo DIY (Do It Yourself). Su nombre viene del nombre del Bar di Re Arduino donde Massimo Banzi Banzi dice que nunca surgió como una idea de negocio, es más nació por una necesidad de subsistir ante el eminente cierre del instituto de diseño interactivo IVREA en Italia. Es decir, al crear unos productos open hardware, no podría ser embargado. Es más hoy en día arduino tiene la difícil tarea de subsistir comercialmente y continuar en continuo crecimiento (Benitez, 2012).

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### 2.2.1. TECNOLOGÍA DE AUTOMATIZACIÓN



**Figura 1:** Módulo didáctico de automatización: Festo

Es la utilización de diversos elementos o sistemas electromecánicos y computarizados para lograr controlar maquinarias y procesos industriales reduciendo la necesidad de intervención de operarios en el proceso, la automatización permite una gran reducción de la necesidad sensorial y mental del operario, permitiendo una producción más eficiente y una considerable disminución de los riesgos del operario (Vadillo, 2014)

### 2.2.2. CONTROL

Los instrumentos de control empleados en las industrias tales como procesos químicos, de petroquímica, de alimenticia, etc., tienen su propia terminología; los términos empleados definen las características propias de medida, de control, de las estáticas y de las dinámicas de los diversos instrumentos utilizados:

Indicadores, registradores, controladores, transmisores y válvulas de control.

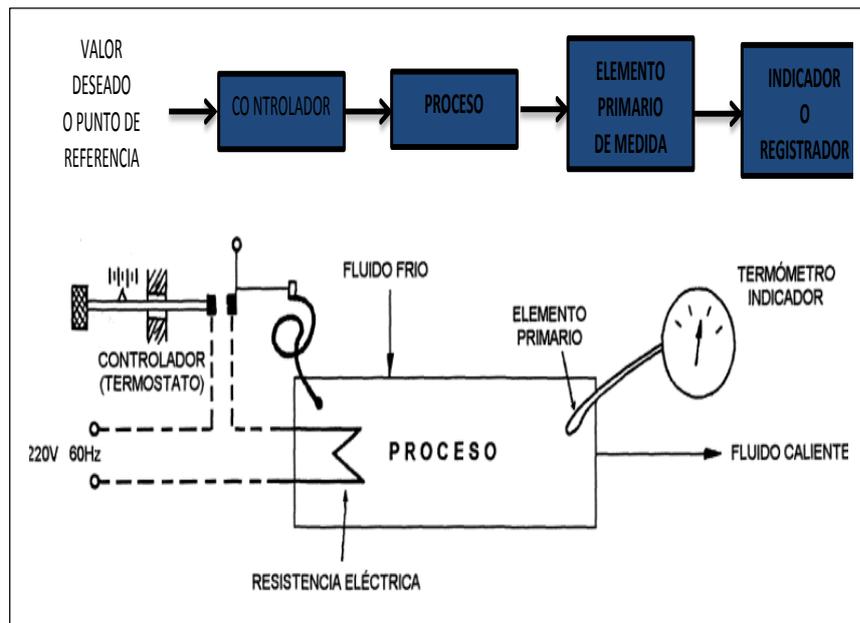
La terminología empleada se ha unificado con el fin de que los fabricantes, los usuarios y los organismos o entidades que intervienen directa o indirectamente en

el campo de la instrumentación industrial empleen el mismo lenguaje. Las definiciones de los términos empleados se relacionan con las sugerencias hechas por ANS/ISA S51.1-1979 (R 1993) aprobadas el 26 de mayo de 1995 (Creus, 2011).

### 2.2.3. CONTROL DE PROCESOS.

Los procesos industriales pueden ser de distinta naturaleza, pero en general tienen como aspecto común, el control de algunas magnitudes, como son: la temperatura, la presión el flujo, etc. El sistema de control para estas magnitudes se puede definir como: Un sistema que compara el valor de un variable a controlar con un valor deseado y cuando existe una desviación, efectúa una acción de corrección sin que exista la intervención humana.

Los sistemas de control industrial pueden ser operados como sistemas de lazo abierto o sistemas de lazo cerrado. Un sistema de control elemental incluye la llamada unidad de medida, un indicador, el registrador, un elemento final de control y el propio proceso a controlar estos elementos forman correctamente el lazo de control que puede ser abierto o cerrado (ENRIQUE HARPER, 2010).



**Figura 2:** Esquema de un lazo de control abierto: Control de procesos industriales

#### **2.2.4. TIPOS DE SENSORES.**

Los sensores se pueden dividir en moduladores y generadores. En los sensores moduladores o activos, la energía de la señal de salida procede, en su mayor parte, de una fuente de energía auxiliar. La entrada solo controla la salida. En los sensores generadores o pasivos, en cambio la energía de salida es suministrada por la entrada.

Según la señal de salida, los sensores se clasifican en analógicos o digitales. En los analógicos la salida varía al nivel macroscópico, de forma continua y en los sensores digitales, la salida varía en forma de saltos o pasos discretos. No requieren conversión A/D y la transmisión de su salida es más fácil. Tiene también mayor fidelidad y mayor fiabilidad, y muchas veces mayor exactitud, pero lamentablemente no hay modelos digitales para muchas de las magnitudes físicas de mayor interés. En la tabla se recogen todos los criterios de sensores y su clasificación y se detalla características de los sensores de temperatura, presión, caudal, humedad, posición, velocidad, aceleración, fuerza, par, etc.

Magnitudes									
Sensores	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad
Resistivos	Potenciómetro Galgas Magneto resistencia		Galgas +masa - resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + voladizo Termistores	Potenciómetro + Flotador Termistores LDR	Galgas	Humistor
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diagrama		Condensador variable	Galgas capacitivas	Dieléctrico Variable
Inductivos y electromagn éticos	LVDT Corrientes Foucault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVDT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa - resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diagrama	LVDT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magneto- elástico LVDT + célula carga	
Generadores			Piezoeléctri cos + masa - resorte	Termopares Piro eléctrico	Piezoeléctricos			Piezoeléctricos	
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vertices			SAW
Uniones p-n	Fotoeléctricos	Codificadores incrementales		Diodo transistor Convertidores			Fotoeléctricos		
Ultrasonidos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo transito Vértices	Reflexión Absorción		

**Tabla 1:** Sensores y Métodos de detección para las magnitudes más frecuentes.

### 2.2.5. MEDIDA DE FLUJO O CAUDAL

Para la medición del flujo o caudal se pueden adoptar dos métodos generales de medición, denominados volumétricos o másico. Los medidores volumétricos determinan el flujo en volumen del fluido, ya sea en forma directa por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida) o indirectamente (indicando el desplazamiento).

#### FLUIDO

Es un término que describe cualquier sustancia que fluye, los líquidos tal como el agua, los fluidos hidráulicos y los gases tales como el oxígeno o el nitrógeno, son todos considerados como fluidos. La capacidad del flujo de un líquido que atraviesa una tubería se puede calcular con la siguiente fórmula:

Ecuación  $Q=V*A$  (ec.1)

Dónde:  $Q$  = Flujo del líquido a través de un tubo

$V$  = Velocidad promedio del flujo

$A$  = Sección transversal o área del tubo

Es importante mencionar que esta fórmula es una relación básica para el flujo y no se toma en consideración la densidad, la viscosidad del fluido o la fricción en las paredes del tubo

### 2.2.6. MEDIDAS DE TEMPERATURA.

- Efecto "Seebeck" (generación de una f. e. m por el efecto de variación de la temperatura, entre un bimetálico o termopar).
- Efecto "Peltier" (efecto contrario al Seebeck, producido al generar una corriente en un bimetálico, se desprende calor).
- Efecto "Thomson" (diferencia de densidad de electrones en puntos diferentes de un hilo con temperatura distinta).

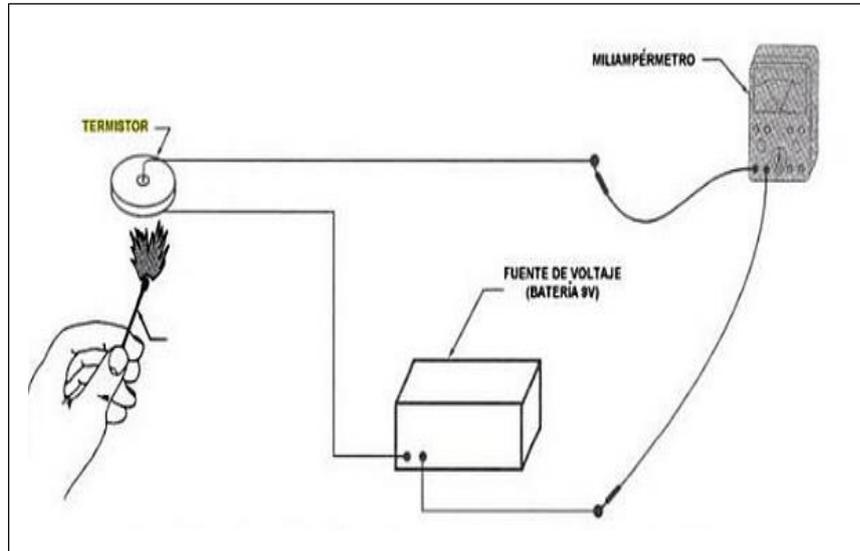
## **ELEMENTOS PRIMARIOS DE TEMPERATURA**

Existen dos tipos de elementos primarios que son los termopares y el termo resistencias. En ambos casos, la adición de un convertidor basado en microprocesador, hace que las señales se conviertan a una forma más estandarizada (4-20 mA, hart, etc.).

### **TERMISTOR**

El termistor es, como su nombre lo indica, un resistor sensible a la temperatura; es decir, su resistencia terminal se encuentra relacionada con la temperatura de su cuerpo. No se trata de un dispositivo de unión, se construye de Ge, Si o de una mezcla de óxidos de cobalto, níquel, estroncio o manganeso. El compuesto utilizado determinara si el dispositivo cuenta con un coeficiente de temperatura positivo o negativo.

El termistor actúa como un resistor y tendrá un coeficiente de temperatura positivo. Sin embargo, a medida que la corriente se incrementa, la temperatura crecerá hasta el punto donde se presentará el coeficiente de temperatura negativo. El hecho de que la velocidad de flujo interno pueda ejercer tal efecto sobre la resistencia del dispositivo, introduce una amplia perspectiva de aplicaciones en control, técnicas de medición, etcétera. Un cambio extremo requerirá cambiar la temperatura del medio que lo rodea o sumergir el dispositivo en una solución fría o caliente. El Transductor que actúa como un resistor sensitivo térmicamente, su resistencia varía con un cambio en la temperatura, un incremento en la temperatura produce un decremento en la resistencia y un aumento en la corriente (Maraña, 2005).

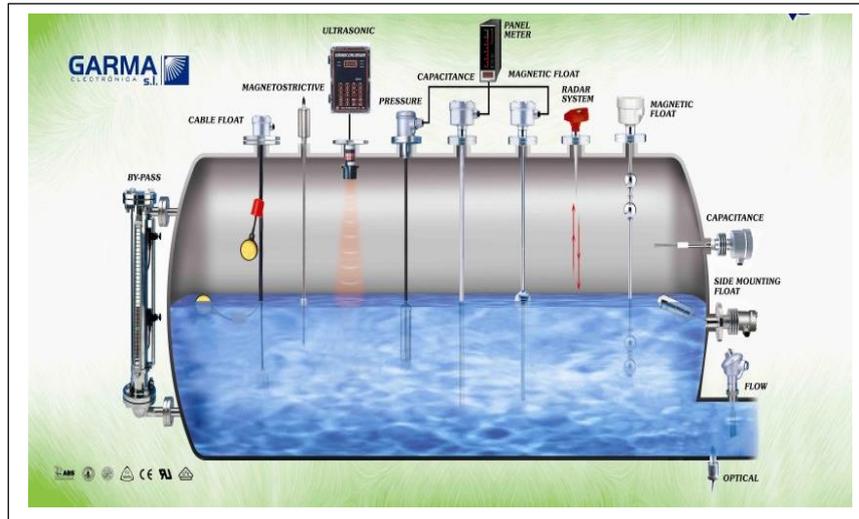


**Figura 3:** Resistencia baja y el flujo de corriente aumentan: Control de procesos Industriales.

### 2.2.7. MEDIDAS DE NIVEL

A continuación se da una visión de una selección representativa de las técnicas de medición de nivel más frecuentemente utilizadas.

- Indicadores de nivel de vidrio
- Indicadores de nivel magnético
- Indicadores de nivel manómetro
- Interruptor por nivel de flotador
- Interruptor de nivel por láminas vibrantes
- Transmisor de nivel por desplazador.
- Transmisor de nivel por servomotor
- Transmisor de nivel por burbujeo
- Transmisor de nivel por presión hidrostática y diferencial
- Transmisor de nivel conductivos
- Transmisor de nivel capacitivo.
- Transmisor de nivel por radar.
- Transmisor de niveles radioactivos.
- Transmisores de nivel ultrasónicos



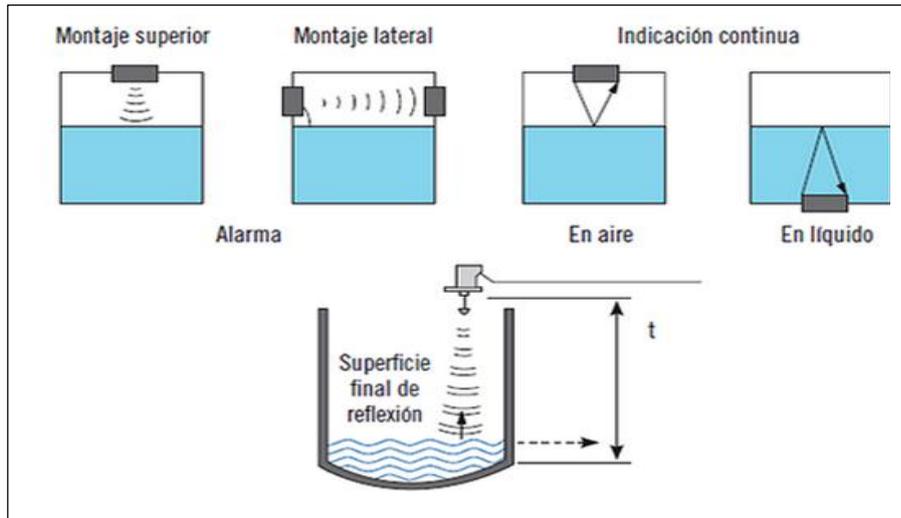
**Figura 4:** Sensores de Nivel: Gama.com.

## TRANSMISORES DE NIVEL ULTRASÓNICOS

Es una medición de nivel bastante utilizada cuando se pretende evitar el contacto entre el instrumento y el producto, por problemas de agresividad. Consisten en la aplicación del método de reflexión del sonido se basa en el principio de retorno de un pulso de sonido emitido por un sensor. El pulso ultrasónico emitido se refleja en la superficie del producto y el mismo sensor vuelve a detectarlo después de un tiempo. El tiempo de retorno es proporcional a la altura vacía del tanque, y por lo tanto al nivel del mismo. Este tiempo de retorno es convertido a una señal estándar de 7 -20 m A.

Ventajas: Adecuado para productos que sean peligroso al contacto.

Inconvenientes: Problemas en aquellos productos que puedan formar espuma. No es apto para fluidos en altas presiones y temperaturas, así como procesos al vacío.



**Figura 5:** Transmisores de nivel por ultrasonidos: Instrumentación y control de procesos.

### 2.2.8. ELEMENTOS FINALES DE CONTROL.

En la mayor parte de los procesos industriales con líquidos aparecen lazos de control formados por tres elementos típicos: transmisor, regulador y válvula. Actuando conjuntamente garantizan una operación controlada y eficiente de la planta junto con otros equipos automáticos. Los avances de la electrónica en la instrumentación industrial han ido desplazando a la neumática clásica que fue pionera en la automatización. Más recientemente la incorporación de la electrónica digital permite usar transmisores inteligentes, sistemas de control distribuido y avanzado optimizando, aún más, los procesos de producción. En cuanto a constitución mecánica, las válvulas de control tienen las mismas configuraciones que las válvulas manuales, es decir, pueden ser del tipo:

- Globo o asiento.
- Mariposa
- Bola
- Compuerta
- Macho
- Diafragma.



**Figura 6:** Válvulas industriales.: Cámara de Comercio Quito.

Las válvulas de control se podrían distinguir en dos tipos en función del tipo de control:

– Válvulas Todo-Nada

– Válvulas de Control.

La principal diferencia entre una y otra, es que la primera solamente actúa en dos posiciones, abierta o cerrada y se suele utilizar en controles on-off.

La segunda se utiliza para el control continuo de procesos y está continuamente modulando y buscando la posición de equilibrio requerida por el sistema.

### **ELECTROVALVULAS.**

Las electroválvulas son auxiliares de mando que liberan, bloquean o desvían el paso de un fluido en función del cierre o apertura de su circuito eléctrico constituido por un electroimán.

Cuando se cierra el circuito eléctrico de la bobina se forma un campo magnético que atrae a un núcleo o armadura basculante hasta topar con la superficie del electroimán.

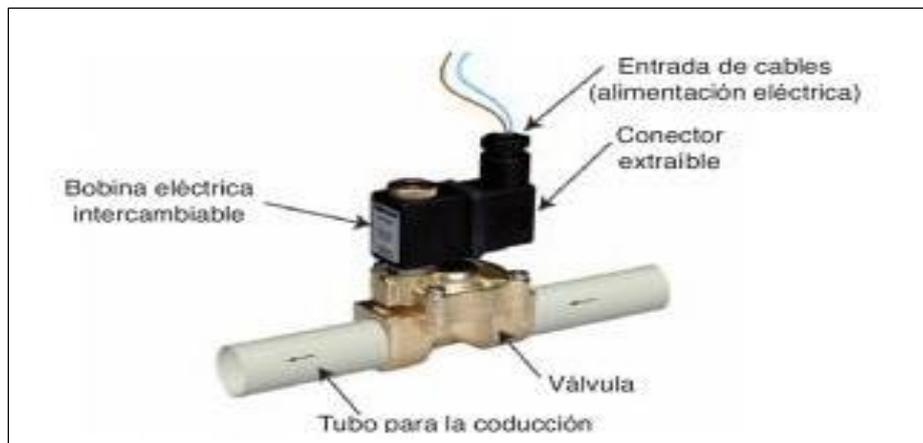
Al movimiento del núcleo se le opone la fuerza de un muelle antagonista. Cuando se interrumpe el circuito eléctrico de la bobina desaparece el campo magnético y el muelle que está presionando al núcleo armadura le hace recuperar su posición inicial.

**CONTROL DE FLUIDOS.-** Las electroválvulas son actuadores que permiten controlar eléctricamente circuitos de fluidos como el de gas o el de agua.



**Figura 7:** Tipos de electroválvulas: (CEME)

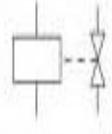
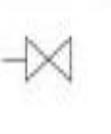
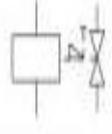
Se instalan en conducciones de fluidos y se controlan eléctricamente a través de un órgano de mando denominado bobina.



**Figura 8:** Partes de una electroválvula: (CEME).

Las tensiones habituales para las bobinas son 12,24 ,110 y 220 V, continua y alterna respectivamente (Gea, 1998).

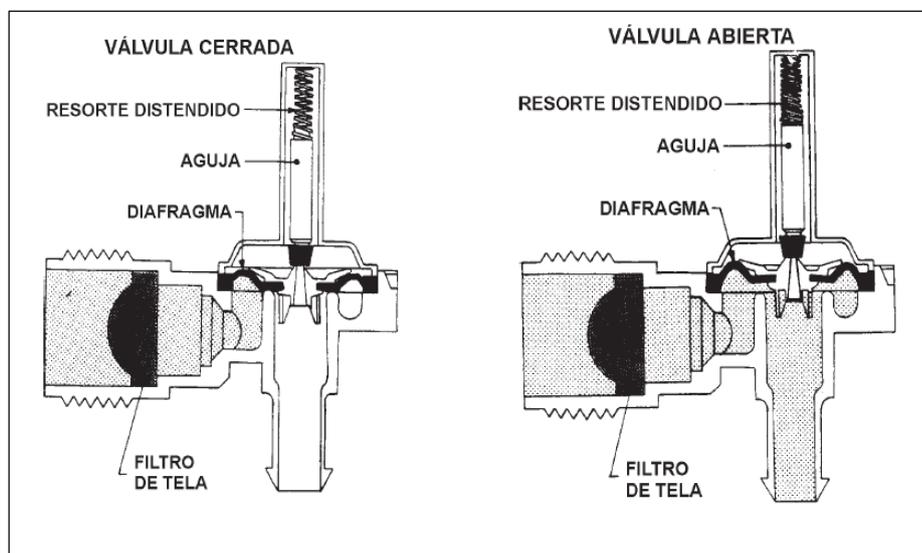
El símbolo de la electroválvula es el siguiente:

Dispositivo	Multifilar	Unifilar
Electroválvula		
Electroválvula con enclavamiento mecánico y rearme manual		

**Tabla 2:** Símbolo de electroválvula.: Circuitos básicos de electro neumático

Algunos ejemplos de aplicación de las electroválvulas son:

- Cierre de la conducción de agua cuando se detecta una inundación.
- Cierre de la conducción de gas cuando se detecta un escape.
- Apertura o cierre de un sistema de riego automático de forma programada.
- La electroválvula, tiene una rosca 3/4", salida Ø 12, 110 v



**Figura 9:** Estructura interna de la electroválvula.: Electro lux

### 2.2.9. SISTEMAS DE CONTROL

Los sistemas de control tienen la misión de recibir las variables de proceso procedentes de los instrumentos, procesarlas, ejecutar órdenes y gestionar las salidas a los elementos finales de control (control o todo-nada).

Existen dos posibilidades a la hora de seleccionar el tipo de sistema de control a utilizar, por una parte están los controladores lógicos programables (PLC's) unidos a un SCADA (Supervisor y Control and Data Acquisition), y por otra están los SCD's (Sistemas de Control Distribuido). Los primeros se utilizan cuando el control es principalmente "discreto" (todo-nada) o el volumen de señales es relativamente pequeño. El SCD se utiliza para grandes proyectos y control mayoritariamente analógico. Otro punto a tener en cuenta son las comunicaciones e interfaces, con otros sistemas.

Los SCD, se basan en tres principales subsistemas:

- Interface con el proceso (tarjetas de entrada/salida, controladores, etc.).
- Interface con el operador (pantallas de visualización y software)
- Vías de datos o buses de interconexión (redes ethernet, profibus, etc.)<sup>9</sup>.

### 2.2.10. VARIABLES QUÍMICAS.-Conductividad, pH, redox.

**2.2.11. pH.-** Es una medida de la acidez o de alcalinidad de un solución. Su expresión matemática viene dada por el opuesto del logaritmo de la concentración del ion H<sup>+</sup> expresada en moles por litro:

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]. \quad \text{Ecuación (2)}$$

### **2.2.12. FPGA.**

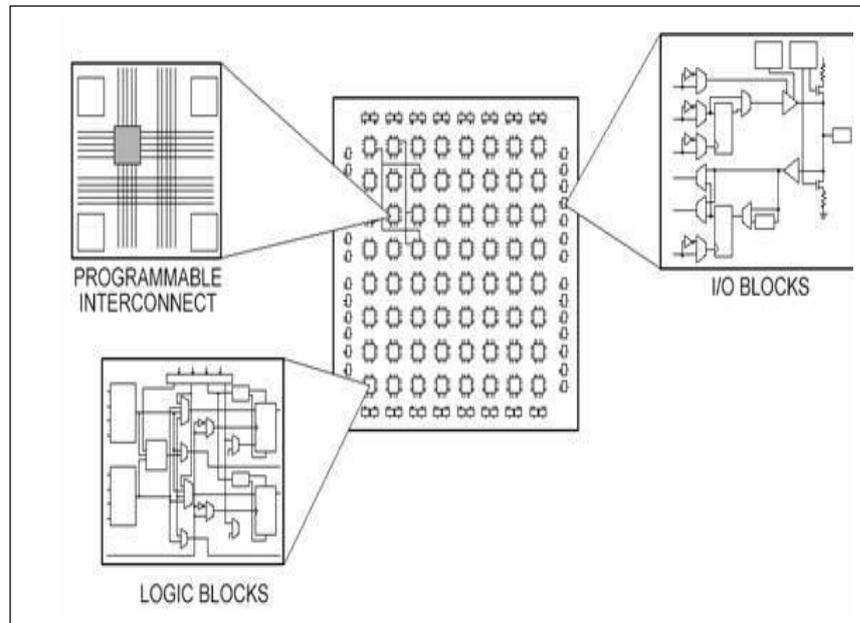
Las FPGAs son chips de silicio reprogramables, están constituidos por bloques lógicos pre-construidos y con funcionalidad para recursos para ruteo programables, se pueden configurar estos chips para implementar funcionalidades personalizadas en un hardware. Los diseños de control digital se desarrollan mediante tareas de cómputo digital en software para luego compilarlas en un archivo de configuración o bit stream que contenga información de cómo deben conectarse los componente.

Las FPGAs son completamente configurables y al instante toman una nueva “personalidad” cuando se compila una diferente configuración de circuitos. Hasta hace poco tiempo sólo los ingenieros con un profundo entendimiento de diseño de hardware digital podían trabajar con la tecnología FPGA. Sin embargo, el aumento de herramientas de diseño de alto nivel está cambiando las reglas de programación de FPGAs, con nuevas tecnologías que convierten los diagramas a bloques gráficos, o hasta el código ANSIC a circuitos de hardware digital. La adopción de chips FPGA en la industria ha sido impulsada por el hecho de que los FPGAs combinan lo mejor de los ASICs y de los sistemas basados en procesadores (Instruments, National Instruments, 2011).

Ofrecen velocidades temporizadas por hardware y fiabilidad, pero sin requerir altos volúmenes de recursos para compensar el gran gasto que genera un diseño personalizado de ASIC. El silicio reprogramable tiene la misma capacidad de ajustarse que un software que se ejecuta en un sistema basado en procesadores, pero no está limitado por el número de núcleos disponibles. A diferencia de los procesadores, los FPGAs llevan a cabo diferentes operaciones de manera paralela, por lo que éstas no necesitan competir por los mismos recursos. Cada tarea de procesos independientes se asigna a una sección dedicada del chip, y puede ejecutarse de manera autónoma sin ser afectada por otros bloques de lógica. Como resultado, el rendimiento de una parte de la aplicación no se ve afectado cuando se agregan otros procesos.

### 2.2.11. PARTES DE UN FPGA

Cada chip de FPGA está hecho de un número limitado de recursos predefinidos con interconexiones programables para implementar un circuito digital reconfigurable y bloques de E/S para permitir que los circuitos tengan acceso al mundo exterior.



**Figura 10:** Partes de una FPGAs: National Instruments

Las especificaciones de recursos de FPGA a menudo incluyen el número de bloques de lógica configurables, número de bloques de lógica de función fijos como multiplicadores y el tamaño de los recursos de memoria como RAM en bloques embebidos. De las muchas partes del chip FPGA, estos son generalmente los más importantes cuando se seleccionan y comparan FPGAs para una aplicación en particular.

Los bloques de lógica configurables (CLBs) son la unidad de lógica básica de un FPGA. Algunas veces referido como segmentos o células de lógica, los CLBs están hechos de dos componentes básicos: flip-flops y tablas de consulta (LUTs). Es importante tomar esto en cuenta porque distintas familias de FPGAs se diferencian en la manera en que los flip-flops y las LUTs están empacados (Intruments, s.f.) .

## **HERRAMIENTAS TRADICIONALES DE DISEÑO DE FPGA**

Para verificar la lógica creada por un programador de FPGA, es común escribir bancos de pruebas en HDL para abarcar y practicar el diseño de FPGA al afirmar entradas y verificar salidas. El banco de pruebas y el código FPGA se ejecutan en un entorno de simulación que modela el comportamiento de temporización de hardware del chip FPGA y muestra al diseñador todas las señales de entrada y salida para validación de pruebas. El proceso de crear el banco de pruebas HDL y ejecutar la simulación generalmente requiere más tiempo que crear el diseño original de FPGA HDL.

Una vez que ha creado un diseño de FPGA usando HDL y que lo ha verificado, necesita integrarlo en una herramienta de compilación que toma la lógica basada en texto y después de varios pasos bastante complejos, sintetiza su HDL en un archivo de configuración o escritura de bits que contiene información sobre cómo los componentes deben estar cableados.

### **2.2.12. ARDUINO**

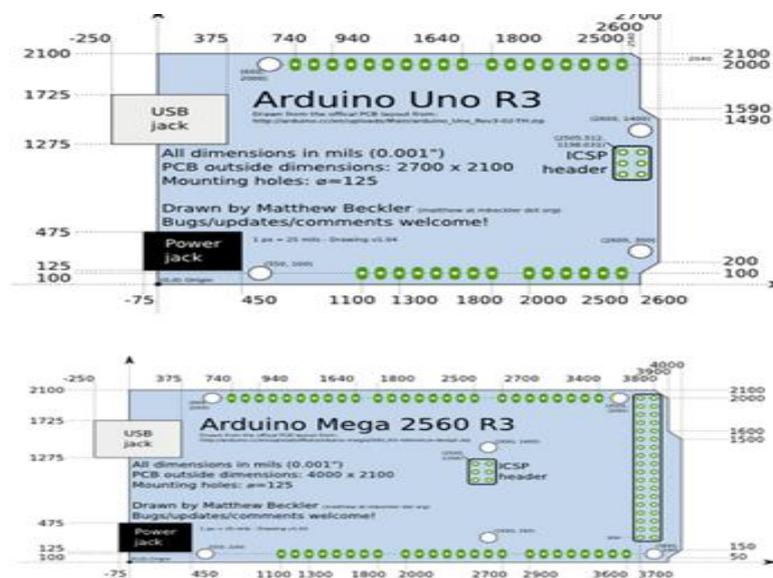
Arduino es una plataforma de prototipos electrónicos de código abierto compuesto por un microcontrolador, un lenguaje de programación, y un IDE. Arduino es una herramienta para la toma de aplicaciones interactivas, diseñadas para simplificar esta tarea para principiantes, pero todavía lo suficientemente flexibles para que los expertos para desarrollar proyectos complejos. Desde su creación en 2005, más de 200.000 placas arduino (ver Figura 11) se han vendido, y hay un número cada vez mayor de proyectos con Arduino como su núcleo de la computación. La comunidad arduino es enorme, y también lo es el número de tutoriales, libros de consulta, bibliotecas disponibles. Al ser de código abierto significa que hay clones de arduino que se pueden elegir para sus proyectos. Los usuarios avanzados de arduino están desarrollando constantemente escudos para el arduinos disponibles, así como completamente nuevas placas compatibles con arduino especializadas en diferentes tareas (Enrique Ramos Melgar and Ciriaco Castro Diez, 2012).



**Figura 11:** Arduino: Tecnología en Acción.

### ARDUINO MEGA 2560

Placa basada en el microcontrolador ATmega 2560. Como característica más rescatables diremos que tiene 54 pines de entrada/salida digitales de los cuales 14 pueden ser usados como salidas analógicas PWM, 16 entradas analógicas y 4 receptores/transmisores serie TTL-UART. Consta de una memoria SRAM de 8 KB y una EEPROM de 4 KB. Su voltaje de trabajo es igual al del modelo UNO: 5 V.



**Figura 12:** Características arduino uno y arduino mega 2560: Arduino curso práctico de formación.

## **INSTALANDO ARDUINO.**

Arduino se ejecuta en Windows, Mac OS X y Linux, así que hay una versión de arduino para que sea cual sea su sistema operativo. Ir a la página web de software de arduino en <http://arduino.cc/en/Main/Software> y descargar la versión del software compatible con su sistema.

## **INSTALACIÓN DE ARDUINO EN WINDOWS.**

Descargue el archivo de zip y descomprimirlo. Abrir la carpeta llamada arduino-1.0. Esta es la carpeta de Arduino y que se debe almacenar en algún lugar de la computadora desde donde se puede posteriormente ejecutar el programa. La carpeta archivos de programa podría parecer un lugar razonable para el software de arduino. Es necesario instalar los controladores arduino antes de poder empezar a trabajar. Suponiendo que desea instalar el arduino uno, siga estos pasos:

Conecte su tablero para el equipo y espere a que Windows para iniciar el proceso de instalación del controlador. Después de un tiempo, se producirá un error. No hay problema (Artero, 2013).

- Haga clic en el menú Inicio y abra el Panel de control.
- Vaya a sistema y seguridad, luego en sistema y luego en administrador de dispositivos.
- Encontrar el puerto arduino uno enumerados en puertos (COM LPT).
- Haga clic derecho sobre él y seleccione "Actualizar software de controlador", seleccionando "Buscar software de controlador".
- Por último, navegar y seleccionar el archivo controlador de la arduino uno llamado "ArduinoUNO.inf" encuentra en la carpeta drivers de la carpeta del software de arduino que acaba de descargar. Windows instalará el driver.

## 2.3. VARIABLES

### 2.3.1. VARIABLES INDEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Sistema de control electrónico	El sistema de control con circuitos reprogramable como FPGA y arduino son importantes para el control de nivel y flujo s: por que permiten el manejo de las variables que intervienen en un proceso de potabilización de agua	<b>TÉCNICO</b>	<p>Eficiencia de sistemas de adquisición de datos</p> <p>Rendimiento de lógica de control</p> <p>Rendimiento del proceso de llenado</p>	<p>Tablas de resultados de caudal, temperatura , nivel de liquido</p> <p>Programación</p> <p>Monitoreo de nivel de liquido</p>
		<b>DIDÁCTICO</b>	<p>Conocimientos</p> <p>Destrezas</p> <p>Aptitudes</p> <p>Habilidades</p>	<p>Tabla de datos y de resultados de la sesión practica</p>

**Tabla 3:** Variables independientes: Autor

## VARIABLES

### 2.3.2. VARIABLES DEPENDIENTE

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO
Eficiencia del 99% de la medición de nivel	El módulo didáctico opera en forma automática con el fin de obtener eficiencia en el análisis de nivel y flujo en los sistemas de control siendo una solución práctica en los procesos de automatización.	<b>INSTRUMENTACIÓN Y AUTOMATISMOS</b>	<p>Eficiencia del bloque de fuerza y del bloque de control</p> <p>Rendimiento de actuadores y sensores</p>	<u>Instrumentos</u> Simulación en proteus arduino
		<b>MÓDULO DIDÁCTICO</b>	Operatividad de Sistema de control para el proceso de enseñanza	<u>Técnicas</u> Observación directa Observación indirecta

**Tabla 4:** Variables dependientes: Autor

## **2.4. MÉTODOS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN**

La metodología utilizada para el desarrollo investigativo de este proyecto de “Módulo de control aplicando tecnología FPGA y arduino para el análisis del proceso de mezcla de potabilización del agua, nivel de pH y control de flujo”, está fundamentado en cuatro fases, en los cuales se utilizan diferentes métodos de investigación.

### **METODOLOGÍA**

Los métodos utilizados en este proyecto son:

#### **MÉTODO DE EMPÍRICO.**

El método empírico es un modelo de investigación que se basa en la experimentación y la lógica empírica, su fundamento radica en percepción directa del fenómeno de investigación y del problema. Este método será utilizado en la fase 1 y 2.

#### **MÉTODO DE SISTÉMICO.**

El método sistémico se basa en un orden manifestado por reglas, que permitiría llegar a tener una comprensión total de una situación dada. Este método será utilizado en la fase 3 y 4.

Las fases que comprenden la metodología para el desarrollo del proyecto son:

#### **FASE 1**

Investigación preliminar: El objetivo de la investigación inicial se basa en el análisis y estudio de la búsqueda de información para encontrar la factibilidad del proyecto, esto consiste en el estudio de cada uno de los factores que son fundamentales para la implementación del proyecto

#### **FASE 2**

Definición de los requerimientos del sistema: En esta fase se desea conocer los requerimientos de los usuarios en relación al proyecto en desarrollo. Aquí se

identifican los atributos, capacidades, características y/o cualidades del prototipo, para que tenga un valor y utilidad para el usuario final. La información de los requerimientos es proporcionada por las encuestas realizadas.

### **FASE 3**

En esta fase se plantearán los diferentes diseños del módulo de simulación de potabilización a implementar

El procedimiento que se utilizará para llegar al diseño final del módulo está basado en investigación bibliográfica de los módulos didácticos para laboratorio de control, con características aproximadas a los módulos de FESTO.

La técnica a aplicar para seleccionar los dispositivos del módulo se escogerá de acuerdo a las características para el proceso de simulación de automatización de la potabilización del agua, disponibles en el mercado con parámetro aproximado a los requerimientos técnicos.

### **FASE 4**

En esta fase se estudiarán los diferentes procesos del tratamiento del agua potabilizada como control de flujo, control de nivel, monitoreo de pH, medición de temperatura, se investigarán diferentes técnicas sobre el proceso de simulación de los sistemas de purificación del agua, teniendo en cuenta que para los módulos didácticos que representan procesos de tratamiento de agua se usan típicamente dispositivos como PLC, PAC y micro controladores, estos dispositivos trabajan con un código de secuencia, la lógica es utilizada tanto para sistemas de control como también en sistemas digitales. Los PLC, FPGAs y Arduino, son utilizados en la industria y en la educación. Los micro controladores son dispositivos manipulables y didácticos con características técnicas para realizar control, con la facilidad de manipular entradas y salida de datos tanto digitales como analógicos. Se analizarán las ventajas y desventajas de utilizar este tipo de circuitos embebidos para el proyecto “Módulo de control aplicando tecnología FPGA para el análisis del proceso de mezcla de potabilización del agua, nivel de pH y control de flujo”.

## 2.5. TÉRMINOS BÁSICOS.

- **POTABILIZACIÓN.-** Proceso en el que se transforma el agua contaminada por bacterias, virus, contaminantes industriales, dejándola apta para el consumo humano. El tratamiento de potabilización es el que se le aplica al agua para obtener agua limpia y potable, que podamos consumir las personas.
- **SISTEMA ELECTRÓNICO.-** Es un conjunto de sensores, circuitería de procesamiento y control, actuadores y fuente de alimentación.  
Los circuitos internos de un sistema electrónico procesan la señal eléctrica convenientemente. La manipulación de dicha señal dependerá tanto del diseño de los diferentes componentes hardware del sistema, como el conjunto lógico de instrucciones que dicho hardware tenga pregrabado y que sea capaz de ejecutar de forma autónoma
- **MICRO CONTROLADOR.-** Es un circuito integrado o “chip” que tiene la característica de ser programable .Es decir, que es capaz de ejecutar de forma automática una serie de instrucciones previamente definidas por nosotros <sup>15</sup>.
- **ARDUINO.-** Es una placa hardware libre que incorpora un micro controlador reprogramable y una serie de pines ‘hembra que permiten conectar allí de forma muy sencilla y cómoda diferentes sensores y actuadores. Las ventajas del arduino es que su entorno de programación es multiplataforma, el entorno y el lenguaje de programación son simples y claros.
- **FPGA.-** Los arreglos de compuertas programables en campo (FPGAs) son chips de silicio reprogramables. A diferencia de los procesadores que encuentra en su PC, al programar un FPGA el chip se vuelve a cablear para implementar su funcionalidad en lugar de ejecutar una aplicación de software. Ross Freeman, el cofundador de Xilinx, inventó el FPGA en 1985. NI se ha asociado con Xilinx para ofrecer tecnología FPGA de vanguardia en una variedad de plataformas de hardware (Instruments, National Instruments).
- **CIRCUITOS EMBEBIDOS.-** Los sistemas embebidos se utilizan para usos concretos, muy diferentes a los usos generales a los que se suelen dedicar los ordenadores. En un sistema embebido la mayoría de los componentes se encuentran integrados en un soporte físico que suele incluir dispositivos usados para controlar equipos ,operaciones de maquinarias o plantas industriales

completas. El término “embebido” nos indica que esos circuitos son una parte integral del hardware del sistema en que se encuentran (Herrera, 2011).

- **PAC.-** Es un conjunto formado por un dispositivo controlador, una serie de dispositivos de entrada, salida y una serie de buses para intercomunicar el conjunto. El empleo de un PAC combina las características, capacidades y ventajas de los PLC, DCS, RTU y de los PC para realizar operaciones de control, medida y calculo. Son ampliamente utilizados en el ámbito científico e investigador como en el industrial y de producción (Alonso, 2012).
- **PLC.-** es un dispositivo digital electrónico con una memoria programable para el almacenamiento de instrucciones, permitiendo la implementación de funciones específicas como ser: lógicas, secuenciales, temporizadas, de conteo y aritméticas; con el objeto de controlar máquinas y procesos. También se puede definir como un equipo electrónico, el cual realiza la ejecución de un programa de forma cíclica. La ejecución del programa puede ser interrumpida momentáneamente para realizar otras tareas consideradas más prioritarias, pero el aspecto más importante es la garantía de ejecución completa del programa principal. (Moreno).
- **CPLD (Complex Programmable Logic Device).-** Es un integrado donde se tienen varios PLDs con una red de rutas que permite interconectarlos y realizar funciones lógicas complejas.
- **EPLD.-** PLD que utiliza celdas de memoria EEPROM para guardar la lógica programada. Es mucho más complejo que un PLD simple.
- **EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory).-** Memoria de solo lectura programable y borrable. Un tipo de memoria semiconductor.
- **HDL. (Lenguaje de descripción del hardware).-** Métodos estándares de describir circuitos lógicos dentro de un archivo de entrada, que se convertirán en archivos de salida por medio de un compilador como CUPL.
- **PAL (lógica de arreglo programable).-** Clase de dispositivo lógico programables .Su matriz AND es programable, en tanto que la matriz OR esta alambrada.
- **FESTO.-** Se ha consolidado como la empresa líder en automatización neumática, electro neumático y electromecánica ofreciendo soluciones integrales en su ramo.

Los especialistas de Festo saben lo que se necesita en cada ramo industrial en cualquier parte del mundo. Para solucionar los problemas en las diferentes áreas de los ramos industriales como: automotriz, alimenticia y del embalaje, farmacéutica, electrónica, química, papelera, textil, minero, entre otros, y para fabricantes de maquinaria de las diferentes industrias, es necesario disponer de conocimientos precisos sobre las condiciones importantes en las plantas. La planificación y el montaje de equipos e instalaciones eficientes y fiables resultan más sencillos mediante los servicios y las soluciones especiales de FESTO (FESTO, s.f.).

- **SISTEMA DE CONTROL DE FLUJO.-** El Control se efectúa por medio de restricciones internas ajustables, que se establecen durante la operación del sistema. Las restricciones ocasionan pérdidas de energía y por tanto existe una caída de presión a través de la válvula (L.Mott, 2006)
- **SISTEMA DE NIVEL DE LÍQUIDO.-** Los procesos industriales implican un flujo de líquidos a través de tubos y tanques conectados. El flujo en tales procesos resulta a menudo turbulento y no laminar.
- **AUTOMATIZACIÓN:** Acción por la cual se ejecuta un proceso de producción sin la intervención del operador de forma permanente (Ogata K. , 2010)
- **SENSORES:** son elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, la función de los sensores es obtener señales eléctricas en respuestas a magnitudes de entrada no eléctricas.
- **ACTUADORES:** son elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, la función de los actuadores es realizar una acción mecánica en respuesta a una señal de entrada, que en el caso de los actuadores eléctricos. (Areny, 2005).
- **MEDIDORES DE CAUDAL:** Se utilizan para contabilizar la transferencia de materia entre diversas partes de proceso, es imprescindible para poder realizar control automático.
- **PRESIÓN:** La presión se define como la fuerza normal ( $f_x$ ) que, distribuida uniformemente, actúa sobre una superficie dada ( $S$ ) (Sánchez, 2006)  $P= f_s /S$ .

# CAPÍTULO III

## ANÁLISIS

### 3. ANÁLISIS

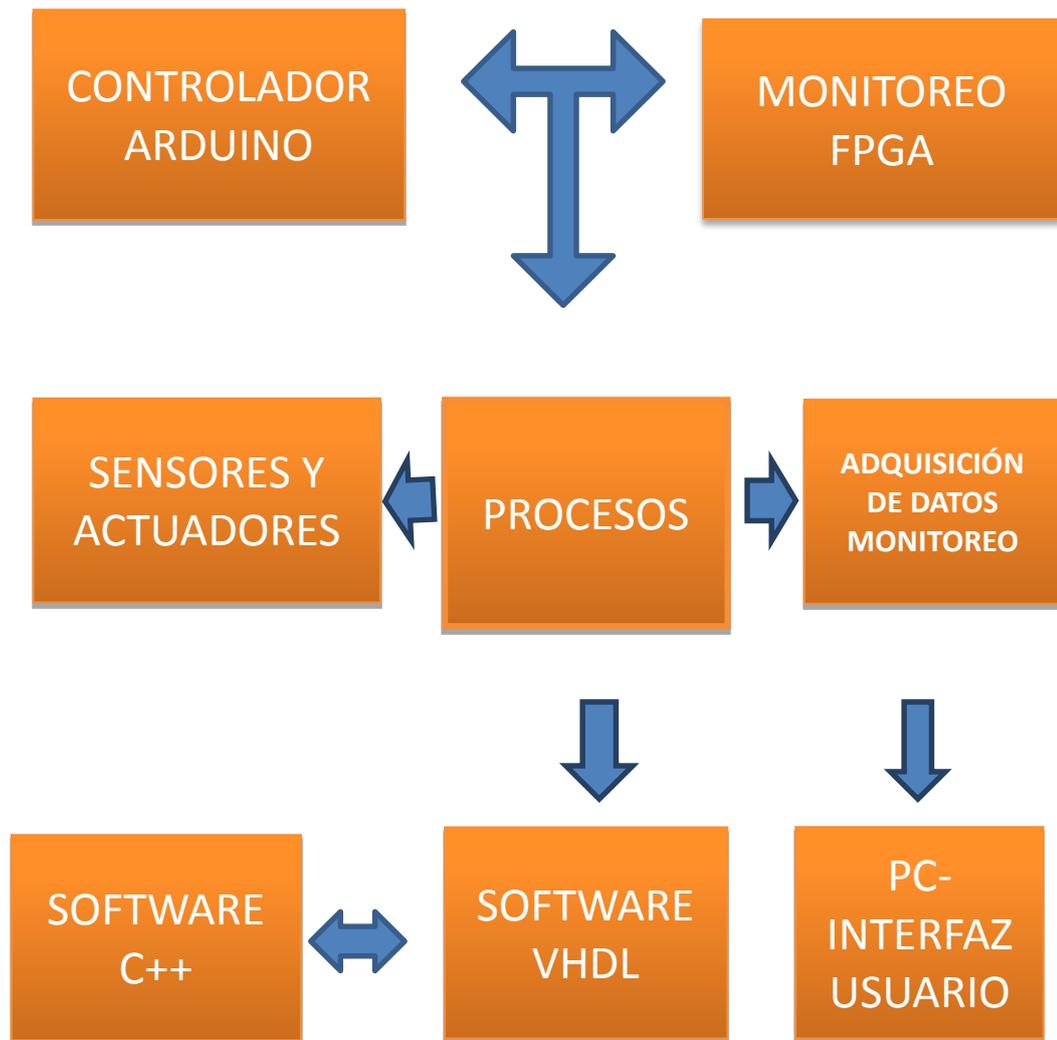
Para la implementación del sistema se realizó un análisis a nivel educativo que ayudará a la Facultad de Sistemas y Telecomunicaciones a la formación de conocimientos en los estudiantes, este módulo será una herramienta didáctica útil para aprendizaje de las asignaturas de sistemas digitales, análisis de señales, sensores e instrumentación, representando a escala los procesos de mezcla de potabilización de un sistema de control automático a tiempo real con el control de programación para cada una de las etapas .

#### 3.1. DIAGRAMA DE PROCESO

Se describen cada uno de los procesos que forman parte del módulo de control automático, que servirá para la simulación de potabilización del agua.

El sistema modular consta de controladores lógicos programables como la FPGA y arduino, también para la parte de control es necesario para la adquisición de datos de actuadores y sensores

A continuación se representa el diagrama de procesos del sistema modular.



**Figura 13:** Diagrama de procesos: Autor.

### 3.1.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS

Este módulo didáctico de simulación de control para la purificación del agua consta de los siguientes procesos: mezcla de sustancias, indicadora de nivel pH, indicadora de caudal, control de flujo, indicadora de temperatura aplicando instrumentación y la adquisición de datos.

**CONTROLADOR ARDUINO.-** Este módulo de control programable arduino es una herramienta simple porque cuenta con librerías de publicaciones libres y facilidad de conexión con interfaces con software especializados para ingeniería eléctrica como: MatLab, ISIS Proteus, Lab VIEW.

Este micro controlador tiene las ventajas de ser asequibles comparadas con otras plataformas de micro controladores.

Para el diseño de control del sistema se plantea la codificación de los procesos en función de una lógica secuencial y de comparación en donde los sensores y actuadores cumplen un papel importante en la adquisición de datos y la activación de los actuadores.

Para este sistema de control se selecciona el arduino porque cuenta con entradas y salidas suficientes para la presentación de datos, control y monitoreo de todo el sistema.

**MONITOREO FPGA.-** El sensor de flujo fs. 300 marca SEA genera una señal digital que será recogida por la FPGA, y este a su vez genera un mensaje indicando la cantidad de litros por segundo en un LCD 16x2.

El sistema de monitoreo que corresponde al control de flujo de líquido se utiliza el circuito embebido FPGA DEO NANO con el lenguaje de programación VHDL utilizando Quartus II.

**MONITOREO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.-** La adquisición de datos consiste en recoger los datos de los sensores ultrasónicos SFR 04, y el sensor de flujo fs. 300 .

Para realizar la adquisición de datos se emplea una PC que servirá para monitorear gráficamente cada uno de los eventos ocurridos y las señales obtenidas de los sensores que intervienen en el proceso, para detectar estas señales se necesita de un software como arduino, este sistema de adquisición consiste en un módulo electrónico que recibe la señal en tiempo real y las traduce con la lógica realizada en arduino para la presentación en la PC.

**PROCESO.-** El diseño del sistema de purificación tiene varias etapas en las cuales con este sistema modular se va realizar una de esas etapas la cual intervendría en el proceso de llenado y vaciado y en esta a su vez se van a determinar los parámetros y señales necesarias para el control del proceso, esto ayudará a los estudiantes a hacer un análisis técnico del proceso de la purificación del agua.

Este módulo realizará el control de procesos, en este interviene el control de flujo, el control de nivel de llenados de tanques mediante la activación de electroválvulas y bombas, también se hará el monitoreo o la medición de temperatura y el de nivel de pH.

**SENSORES Y ACTUADORES.-** Los sensores ultrasónicos SFR 04, de flujo fs.300, la termocupla, el sensor de pH, recogerán señales eléctricas que representan magnitudes físicas que serán interpretadas por el bloque de control para cumplir el proceso de potabilización.

Los datos físicos a analizar son la temperatura medida en grados Celsius, caudal medida como cantidad de volumen sobre tiempo, la alcalinidad o acidez como medida de pH, que son fundamentales para el proceso de potabilización. Los actuadores como bomba, electroválvulas solenoides, relé, indicadores se encargaran de la ejecución del control enviada desde el micro controlador.

**ALIMENTACIÓN.-** El sistema de alimentación consiste en generar la suficiente energía eléctrica al módulo didáctico con sus respectivos bloques, para obtener un voltaje estable en las secciones de los procesos correspondiente que representan a cada una de las etapas de simulación de automatización de la potabilización del agua.

**SOFTWARE VHDL.-** El código VHDL es definido como un lenguaje de descripción del hardware es utilizado en la automatización de diseños electrónicos.

El código VHDL se realiza en Quartus II, el proyecto consta de un encabezado, cuerpo del programa, que consiste en utilizar las salidas del puerto 1 para la presentación del mensaje en el LCD 16x2, este mismo código es el que sirve para recoger a través de su entrada analógica la señal proveniente del sensor de flujo dando como resultado el monitoreo de la señal de caudal.

Las instrucciones utilizadas con lenguaje VHDL tienen las siguientes ventajas como la reutilización y el diseño jerárquico que es solo útil con la tecnología FPGA.

### **3.2. IDENTIFICACIÓN DE REQUERIMIENTOS**

Para el desarrollo de este proyecto es necesario tener presente requerimientos que son de gran importancia para la implementación del sistema de control automático.

- Se requiere de un diseño del modelo del módulo didáctico con las características adecuadas para realizar prácticas del sistema de control de procesos relacionado a la potabilización del agua.
- Se requiere de librerías adicionales para codificar en el software Arduino.
- Se requiere de la tarjeta FPGA DE0 NANO de Altera junto con el software Quartus 10.1 para en monitoreo del caudal.
- Se requiere de la tarjeta arduino mega junto con el software arduino 1.0.5 para el control de llenado y vaciado.
- Se requieren la alimentación general de 110 V alterno para las bombas, los actuadores, y los indicadores, además de alimentación de 12V + para las tarjeta de conversión de potencia y de 5V+ para las tarjetas micro controladoras.
- Se requiere de una PC para la programación de los dispositivos que permitirán el control y monitoreo.

### **3.3. ANÁLISIS DEL SISTEMA MODULAR.**

Se presentan la información del sistema en detalle basado en las siguientes tablas correspondientes a las características de materiales, el análisis económico y técnico como también los requerimientos mínimos de los equipos a utilizar. Se consideró la elección de elementos electrónicos adicionales necesarios para le elaboración del proyecto y su interfaces entre bloques, este detalle de elementos está indicado en las tablas correspondiente.

ESPECIFICACIONES GENERALES		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	DESCRIPCIÓN	FIGURA
CHASIS	TAMAÑO : 170*80 4 RUEDAS FIJAS DE 5 cm de diametro	
SENSORES	SENSOR DE FLUJO DE AGUA FS 300 A 1/2 Voltaje de funcionamiento 5V-24V Tamaño: 6.5 4.2 x x 3.7cm/2.6" x 1.6" x 1.5" (l*w*t) Corriente máxima 15 mA (DC 5V) Rango de caudal 1 ~ 30 L/ min	
	HC-SR-04 SENSOR ULTRASONICO Tensión de alimentación :5 Vcc. Dimensiones del circuito 45x20x17mm. Frecuencia de trabajo: 40 KHz Rango máximo: 4.5 m Rango mínimo: 1.7 cm	
	Nivel de PH: mide desde 5,5 a 9,0 pilas AA Peso: aproximadamente 198 g	
MOTORES	BOMBA PERIFERICA DE AGUA POTABLE No. de Modelo: QB60 Aplicación: Bomba de Agua clarificada Material: hierro fundido Energía: energía eléctrica Estructura: bomba gradual	
	BOMBA AGUA Modelo SP-COSBP6A 110 V,35 W.	
ELECTROVÁLVULAS	Temperatura máxima fluido de 25°C. Tensión: 24VAC Potencia: 3,7W Intensidad arranque: 313 mA	

**Tabla 5:** Especificaciones generales de los dispositivos en el sistema: Autor

### 3.3.1. ANÁLISIS TÉCNICO

Luego de un análisis de los recursos de hardware y software necesarios para el desarrollo e implementación para el control y monitoreo del sistema se determinaron los puntos siguientes:

HARDWARE: Los requerimientos de hardware a utilizarse son los siguientes:

CANTIDAD	HARDWARE	DESCRIPCIÓN
1	COMPUTADOR	PROCESADOR DE 1.6 GHZ 4 GB DE RAM
1	TARJETA ARDUINO	ARDUINO MEGA 2560, 53 PUERTOS
1	TARJETA FPGA	ALTERA CYCLONE V GX FPGA, DEO NANO ALTERA
5	SENSORES	DISPOSITIVOS PARA ADQUISICIÓN DE DATOS
4	ACTUADORES	ACTIVADORES DE LA SEÑAL DE CONTROL

**Tabla 6:** Hardware para el desarrollo: Autor

CANTIDAD	HARDWARE	DESCRIPCIÓN
1	LCD	16 CARACTERES * 2 FILAS 5 V
1	CONECTORES	ACCESORIOS
1	CABLES	CALIBRE 8 AWG
	FOCOS INDICADORES PULSADORES	110V

**Tabla 7:** Hardware para el desarrollo: Autor

CANTIDAD	HARDWARE	DESCRIPCIÓN
5	HC-SR-04 SENSOR ULTRASONICO	TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN: 5 VCC. DIMENSIONES DEL CIRCUITO 45X20X17MM. FRECUENCIA DE TRABAJO: 40 KHZ RANGO MÁXIMO: 4.5 M RANGO MÍNIMO: 1.7 CM
1	SENSOR DE FLUJO DE AGUA FS 300 A ½	VOLTAJE DE FUNCIONAMIENTO 5V-24V TAMAÑO: 6.5 4.2 X 3.7CM/2.6" X 1.6" X 1.5"( L*W*T) CORRIENTE MÁXIMA 15 MA (DC 5V) RANGO DE CAUDAL 1 ~ 30 L / MIN
1	SENSOR DE pH	NIVEL DE PH: MIDE DESDE 5,5 A 9,0 DE ALCALINIDAD PESO: APROXIMADAMENTE 198 G
1	ELECTRO-VÁLVULAS	TEMPERATURA MÁXIMA FLUIDO DE 25°C. TENSIÓN: 24VAC POTENCIA: 3,7W INTENSIDAD ARRANQUE: 313 MA
1	BOMBA PERIFERICA DE AGUA POTABLE	NO. DE MODELO: QB60 APLICACIÓN: BOMBA DE AGUA CLARIFICADA MATERIAL: HIERRO FUNDIDO ENERGÍA: ENERGÍA ELÉCTRICA ESTRUCTURA: BOMBA GRADUAL
1	BOMBA AGUA	MODELO SP-COSBP6A 110 V,35 W.
1	ELECTRO-VALVULA	TEMPERATURA MÁXIMA FLUIDO DE 25°C. TENSIÓN: 24VAC POTENCIA: 3,7W INTENSIDAD ARRANQUE: 313 MA
1	ADAPTADORES DE VOLTAJE	12V 200MA 5 V 200MA

**Tabla 8:** Hardware para la implementación: Autor

**SOFTWARE:** Los requerimientos de software a utilizarse son los siguientes:

<b>CANTIDAD</b>	<b>SOFTWARE</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1	SISTEMA OPERATIVO	WINDOWS 7 ULTIMATE
1	MICROSOFT OFFICE	PROFESIONAL
1	LABVIEW PARA WINDOWS;	VERSIÓN 2012
1	ISIS PROTEUS	VERSIÓN 8 PROFESIONAL
1	SOFTWARE PARA ARDUINO	VERSIÓN 10.5
1	SOFTWARE PARA FPGA	QUARTUS II 10.1 32 BIT

**Tabla 9:** Software para el desarrollo: Autor

### **3.3.2. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Se describen los costos tanto para el hardware como para el software del proyecto en las siguientes tablas:

#### **COSTOS DE DESARROLLO DEL SISTEMA.**

Las tablas, a continuación, dan a conocer el costo que llevará el desarrollo del sistema lo detallamos a continuación.

<b>COSTOS DEL HARDWARE</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO/U.</b>	<b>SUBTOTAL</b>
1	SENSOR DE PH	\$80.00	\$80.00
5	ULTRASÓNICO	\$9.00	\$45.00
5	ELECTROVÁLVULAS	\$15.00	\$75.00
2	ADAPTADORES DE VOLTAJE 12 V Y 9 V	\$15.00	\$30.00
1	SENSOR DE FLUJO DE AGUA	\$18.00	\$18.00
1	STOCK DE GASFITERÍA	\$200.00	\$200.00
4	TANQUES PLASTIFICADOS	\$15.00	\$60.00
1	ESTRUCTURA METÁLICA	\$300.00	\$300.00
1	TARJETA FPGA DEO NANO	\$100.00	\$100.00
1	ARDUINO MEGA	\$80.00	\$80.00
1	CAUTÍN	\$8.00	\$8.00
1	ROLLO DE ESTAÑO	\$5.00	\$5.00
1	MULTÍMETRO DIGITAL		\$20.00
1	BOMBA DE AGUA PERIFÉRICA	\$35.00	\$35.00
1	BOMBA DE AGUA SP-COSBP6A	\$25.00	\$25.00
			\$1,081.00

**Tabla 10:** Costo del hardware: Autor.

<b>ACCESORIOS ADICIONALES</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO/U</b>	<b>TOTAL</b>
<b>PARA EL LCD</b>			
1	LCD	\$6.00	\$6.00
1	POTENCIÓMETRO	\$0.10	\$0.10
1	ESPADINES	\$2.00	\$2.00
SUBTOTAL			\$8.10
<b>MÓDULO DIMMER AC DIGITAL</b>			
1	DF1504S	\$1.00	\$1.00
1	MOC3021SM	\$1.00	\$1.00
1	4N25SR2VM	\$1.00	\$1.00
1	LED	\$0.10	\$0.10
1	BORNERAS	\$0.25	\$1.00
1	TRIAC	\$0.50	\$0.50
1	POTENCIÓMETRO	\$0.10	\$0.10
1	ESPADINES	\$2.00	\$2.00
6	RESISTENCIAS 2 DE 120K,1K,10K,330,470	\$0.05	\$0.30
SUBTOTAL			\$7.00
<b>OTROS ELEMENTOS</b>			
3	RESISTENCIAS DE 330	\$0.05	\$0.15
5	INDICADORES	\$3.00	\$15.00
3	BAQUELITAS	\$2.50	\$7.50
1	SET DE CABLES	\$0.17	\$8.50
z4	PULSADORES	\$2.50	\$10.00
SUBTOTAL			\$41.15
TOTAL			\$56.25

**Tabla 11:** Costo de accesorios adicionales: Autor

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TOTAL</b>
<b>TOTAL HARDWARE</b>	<b>\$1,137.25</b>

**Tabla 12:** Costo total del hardware: Autor.

### COSTO DEL SOFTWARE

CANTIDAD	SOFTWARE	VALOR	SUBTOTAL
1	SISTEMA OPERATIVO	\$ 100.00	\$ 100.00
1	MICROSOFT OFFICE	\$ 52.00	\$ 52.00
1	LABVIEW PARA WINDOWS;	\$ 1,200.00	\$ 1,200.00
1	ISIS PROTEUS	\$ -	\$ -
1	SOFTWARE PARA ARDUINO	\$ -	\$ -
1	SOFTWARE PARA FPGA	\$ 100.00	\$ 100.00
			\$ 1,452.00

**Tabla 13:** Costo de requerimientos de Software: Autor.

Aquí se presenta el costo general del Proyecto para implementar el, “MÓDULO DE CONTROL APLICANDO TECNOLOGÍA FPGA PARA EL ANÁLISIS DEL PROCESO DE MEZCLA DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA, NIVEL DE PH Y CONTROL DE FLUJO”

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	TOTAL
1	HARDWARE	\$1,137.25
2	SOFTWARE	\$1,452.00
TOTAL		\$2,589.25

**Tabla 14:** Costo total del proyecto: Autor.

### 3.3.3. ANÁLISIS OPERATIVO

Después de evaluar el análisis técnico y económico se realizó una síntesis operativa para el desarrollo del proyecto detallado a continuación. Los resultados de los histogramas de las encuestas ANEXO 1 muestran la aceptación del proyecto por parte de los estudiantes

**Rendimiento:** El rendimiento operativo del módulo del proyecto, demostrará el beneficio de realizar prácticas de control en el laboratorio de electrónica y telecomunicaciones generando la innovación tecnológica en esta área.

**Fiabilidad:** El módulo es fiable porque los procesos son visibles y sencillos para el usuario, las herramientas utilizadas en el desarrollo del módulo didáctico son de conocimiento general para los estudiantes de ingeniería de la carrera de electrónica y telecomunicaciones.

**Productividad:** El nivel de productividad por la implementación de este módulo beneficiará a los estudiantes de la carrera de electrónica para realizar prácticas de control automático contribuyendo a docentes y estudiantes en reforzar el proceso de enseñanza- aprendizajes explicados teóricamente en un aula.

## 3.4. VIABILIDAD

### 3.4.1 Viabilidad Económica

El presupuesto para la implementación del proyecto es aproximadamente de \$2589.25 menor al costo de \$20.000 en comparación a un módulo didáctico de FESTO con características similares.

### **3.4.2. Viabilidad Técnica.**

En la viabilidad técnica se dispone de dispositivos actuadores sensores y de control que cumplen las características técnicas y operación de un proceso para la simulación de potabilización del agua.

El hardware y software utilizados cumplen con las características para la adquisición de datos útiles en la enseñanza de prácticas para el área de control y monitoreo

Es posible llevar técnicamente a cabo el sistema por las condiciones de seguridad empleadas por la tecnología disponible en el mercado y verificando factores diversos como: durabilidad, operatividad, mecanismos de control, según en el campo de automatismo y control.

### **3.4.3. Viabilidad RR.HH.**

Para el desarrollo de la propuesta del proyecto investigativo es necesario la intervención de dos profesionales del área de electrónica con conocimientos de automatismo y control.

# CAPÍTULO IV

## DISEÑO

### 4. DISEÑO.

A continuación se detalla los procesos y pasos para la implementación del “Módulo de control aplicando tecnología FPGA para el análisis del proceso de mezcla de potabilización del agua, nivel de pH y control de flujo”.

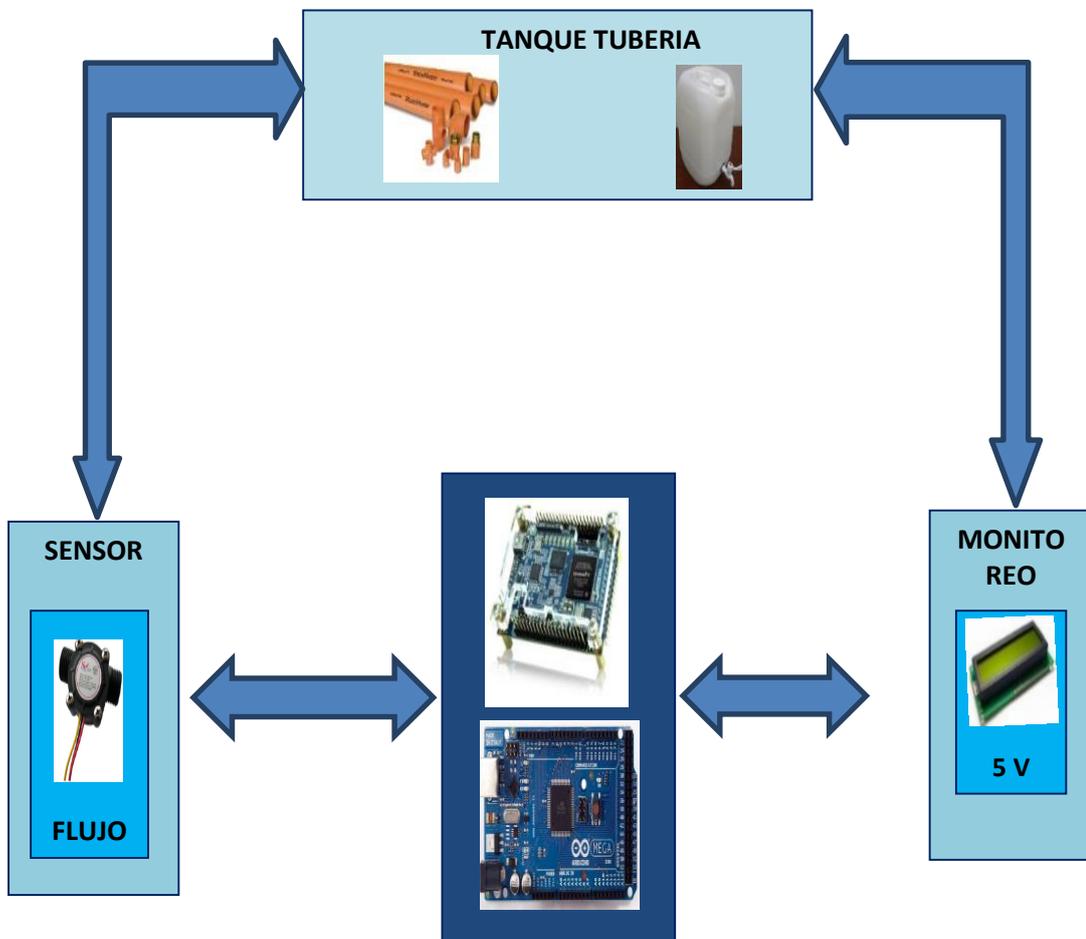


Figura 14: Diagrama de bloques con FPGA: Autor

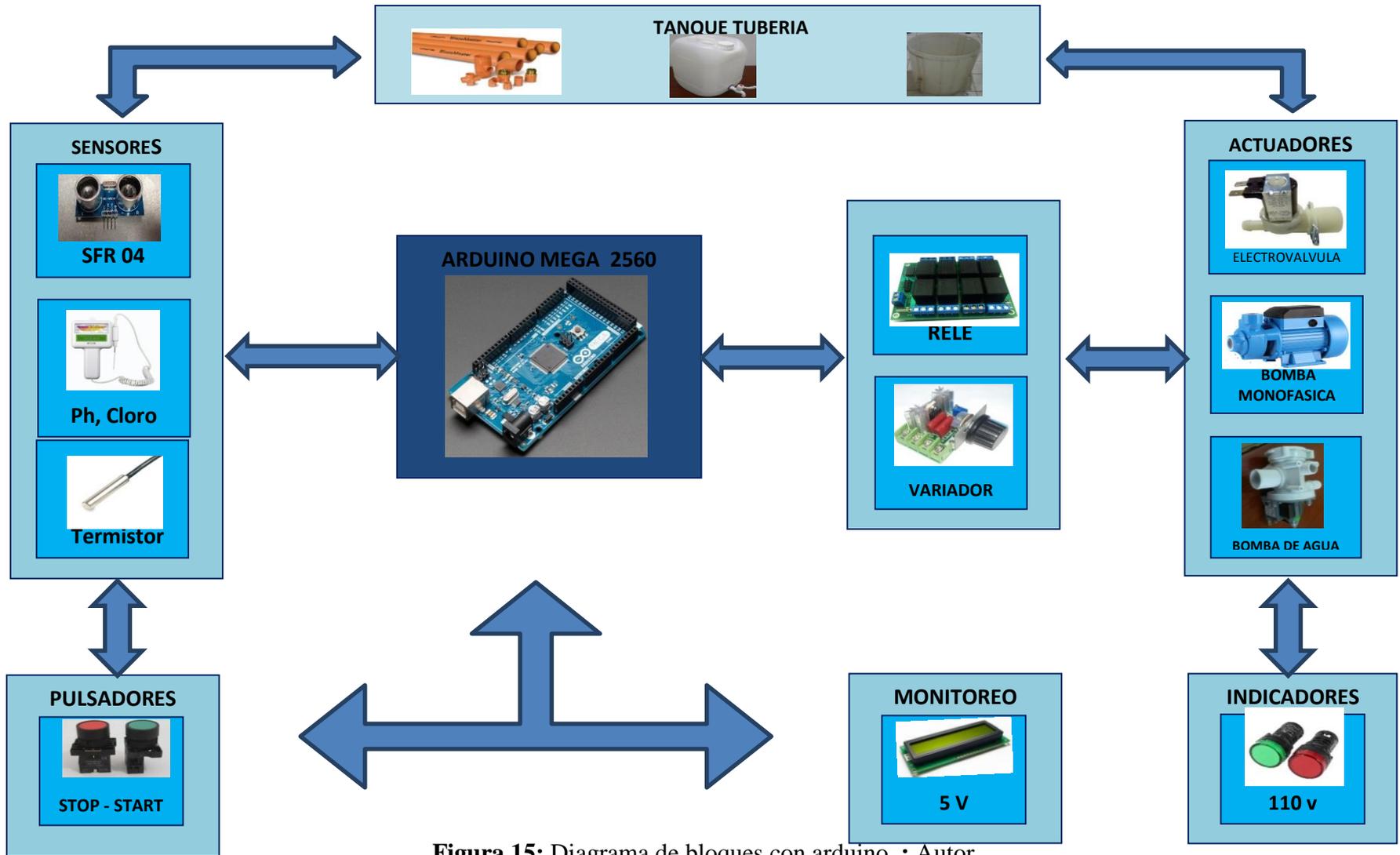


Figura 15: Diagrama de bloques con arduino. : Autor

## **4.1. ARQUITECTURA DE LA SOLUCIÓN.**

Para la arquitectura del módulo didáctico fue necesario e imprescindible el uso de elementos de sensores y actuadores cuyas características son importantes en el sistema desarrollado para el proceso de potabilización del agua.

La solución al problema de simulación de un proceso industrial está dado por la implementación del módulo didáctico el cual contiene bloques definidos para los siguientes fines: control de flujo de líquido, llenado y vaciado de tanque, medición de temperatura, medición de pH, manipulación de bomba y válvulas. A continuación se detallan el diseño lógico, la conexión de tuberías del sistema hidrodinámico y diagramas de bloques para cada una de las etapas de control y de control.

### **4.1.1. ESTADO INICIAL Y CAPACIDAD DE VOLUMEN DE LOS TANQUES.**

Capacidad de volumen del tanque T1 es de 15 galones, para los tanques T2, T3 y T4 su volumen son de 4 galones, y el volumen del tanque T5 es de 10 galones.

Estado inicial del proceso: el tanque T1 sirve de reservorio, este contiene agua potable y el resto de los tanques estarán vacíos.

El tanque T5 es el tanque principal, este contendrá todos los líquidos que son parte del proceso de potabilización, se mezclarán todos los componentes químicos para obtener una agua purificada y en este tanque se realizará las medidas correspondientes a volumen, temperatura, cloro y pH.

La tubería por donde fluyen los líquidos es de material de PVC de media.

#### 4.1.2. DISEÑO PARA LA MEDIDA DE NIVEL CON ULTRASÓNICO HC-SR04.

El HC-SR04 es un sensor para medir distancias utilizando ondas de ultrasonidos con esto se es capaz de detectar los objetos y la distancia que se puede obtener con este dispositivo, el rango de 2-450 cm. El sensor es un módulo que incorpora un par de transductores ultrasónicos que se utilizan de manera conjunta para determinar la distancia hacia un objeto colocado enfrente en la cobertura ultrasónica.

#### EL HC-SR04 PARA MEDIR LA DISTANCIA.

El sensor está compuesto de una pareja de cilindros uno es el transmisor y el otro el receptor, el transmisor envía una señal ultrasónica inaudible por su alta frecuencia y espera a que dicho sonido rebote sobre el líquido, cuyo retorno será captado por el cilindro receptor.

La distancia es obtenida en función de la velocidad del sonido y la cantidad de tiempo que transcurre entre la transmisión de la señal y la recepción de esta.

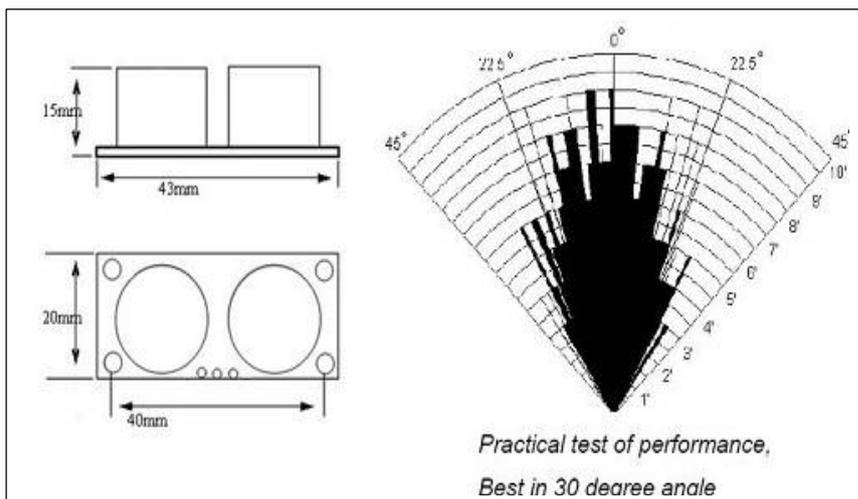


Figura 16: Cobertura ultrasónica: <http://granabot.es>

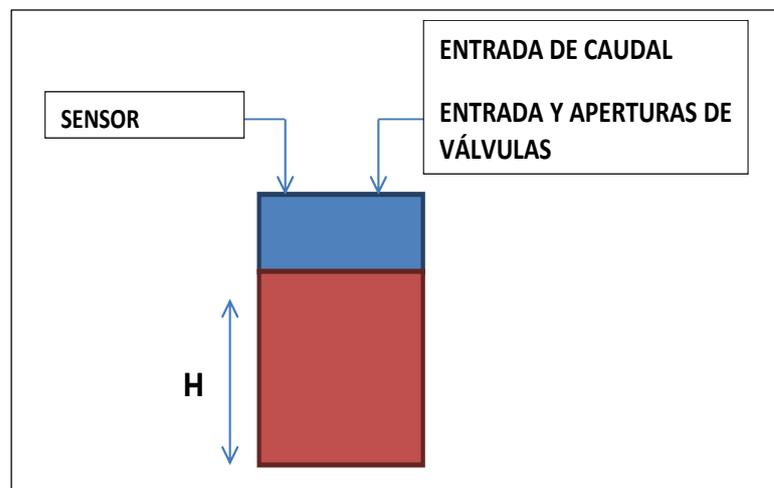
**TIEMPO Y DISTANCIA.-** El funcionamiento del sensor ultrasónico, consiste en emitir un sonido, de manera que rebote sobre el objeto y este eco es el que se recolecta como dato. Entonces conociendo la velocidad de propagación del sonido (340m/s) y la duración entre la emisión y recepción, es decir el tiempo entra ida y vuelta, podemos conocer la distancia.

Conociendo que la velocidad del sonido en el aire es de un valor 340 m/s, o 0,034 cm/microseg. Se plantea un escenario para realizar el cálculo de la distancia, recordaremos que  $v=d/t$ . De la fórmula anterior despejamos  $d$ , obteniendo  $d=v \cdot t$ , siendo  $v$  la constante de la velocidad del sonido y  $t$  el valor devuelto por el sensor hacia la placa arduino. También habrá que dividir el resultado obtenido entre 2, dado que el tiempo recibido es el tiempo de ida y vuelta (Oiéquez, 2015) Aplicando la siguiente fórmula:

$$d = v * \frac{t}{2} = 0.017 \frac{cm}{us} * t$$

### MEDIDA DE NIVEL CON SENSORES ULTRASÓNICOS Y ARDUINO

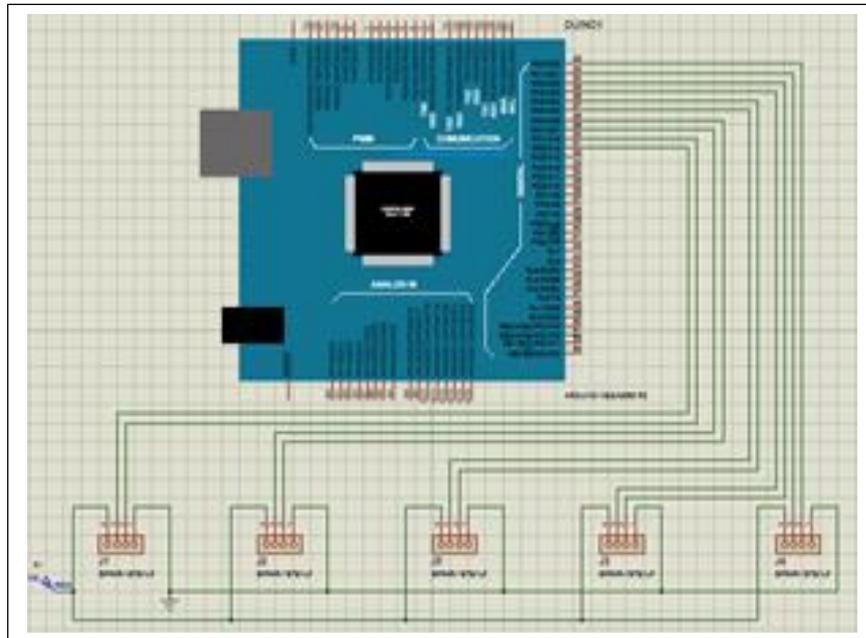
El arduino en conjunto con el sensor ultrasónico actúa para medir el nivel de líquido en este proyecto. En la figura se muestra un tanque con un sensor ultrasónico colocado en la parte superior al borde del tanque para determinar el nivel de líquido, la altura es calculada utilizando el sensor y el código realizado en arduino para monitorear cómo varía el nivel de líquido en el tanque. Esto sucede en cada uno de los tanques, mientras haya aperturas en las válvulas y estén accionadas las bombas, de manera que ingresará una cantidad exacta de líquidos en el tanque haciendo que el nivel varíe.



**Figura 17:** Diseño de ubicación para sensores ultrasónicos: Autor.

En la figura 18 se muestra la interconexión de los sensores ultrasónicos con el arduino mega, los pines que van desde el 31 al 49 del arduino se conectan a la señal

del echo y trigger, de cada sensor ultrasónico mostrado en la tabla 15. Por cada tanque se conecta un sensor ultrasónico y cada sensor utiliza cuatro líneas que corresponde a dos líneas para alimentación y dos líneas para datos.

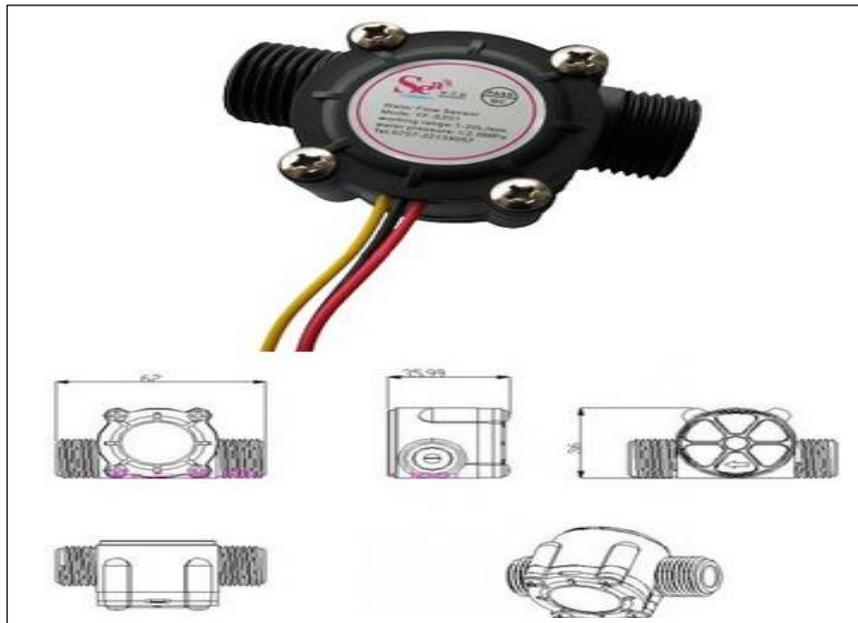


**Figura 18:** Esquema de interconexión de sensores con Arduino : Autor.

SENSÓR ULTRASONICO	SENSOR	PUERTOS	ASIGNACIÓN
	SENSOR 1		Port 31
		Port 33	TRIG
SENSOR 2		Port 35	ECHO
		Port 37	TRIG
SENSOR 3		Port 39	ECHO
		Port 41	TRIG
SENSOR 4		Port 43	ECHO
		Port 45	TRIG
SENSOR 5		Port 47	ECHO
		Port 49	TRIG

**Tabla 15:** Asignación del puerto arduino para los sensores ultrasónicos: Autor.

#### 4.1.3. DISEÑO PARA LA MEDICIÓN DEL FLUIDO



**Figura 19:** Sensor de flujo FS300a: Autor.

El sensor de flujo de agua FS 300a está compuesto de un cuerpo de plástico un rotor, y un sensor de efecto hall. Cuando el agua fluye a través del rotor, el dispositivo de accionamiento puesto en el rotor gira. Los cambios de velocidad dados por el movimiento giratorio del rotor hace que se active el sensor de efecto Hall, este emite el pulso de la señal correspondiente utilizado para obtener la información de flujo de líquido, el dispositivo trabaja a una frecuencia de 16 a 90.2 hz, el rango de flujo es de 1-30l /min y un voltaje de 3.5-24 DC, tiene tres pines de conexión dos líneas para alimentación de voltaje y una línea para dato.

Para poder medir el caudal en el módulo implementado usaremos el sensor de Flujo de Agua el Fs 300 a conectada a las tuberías de la parte superior del “TANQUE PRINCIPAL”, cuenta con un rotor plástico y un sensor de EFECTO HALL, cuando el agua fluye a través del rotor, el rotor rueda y su velocidad cambia con diferente tasa de flujo, este tiene una precisión de aproximadamente del 3 % error, entre 1 a 60 litros por minutos.



NOMBRE DEL CONECTOR	PUERTOS	ASIGNACION
MODULO LCD	Port 4	RS
	Port 5	RW
	Port 6	EN
	Port 7	DB0
	Port 11	DB4
	Port 12	DB5

Tabla 17: Especificaciones de puertos para lcd.: Autor

Node Name	Direction	Location	I/O Bank	VREF Group	I/O Standard	Reserved
Clk	Input	PIN_R8	3	B3_NO	2.5 V (default)	
ICH[2]	Input	PIN_E15	6	B6_NO	2.5 V (default)	
ICH[1]	Input	PIN_B8	8	B8_NO	2.5 V (default)	
ICH[0]	Input	PIN_A8	8	B8_NO	2.5 V (default)	
DOOUT	Input	PIN_E1	1	B1_NO	2.5 V (default)	
IGO	Input	PIN_J15	5	B5_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[7]	Output	PIN_D5	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[6]	Output	PIN_A6	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[5]	Output	PIN_D6	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[4]	Output	PIN_C6	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[3]	Output	PIN_E6	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[2]	Output	PIN_D8	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[1]	Output	PIN_F8	8	B8_NO	2.5 V (default)	
LCD_DataOut[0]	Output	PIN_E9	7	B7_NO	2.5 V (default)	
LCD_E	Output	PIN_D9	7	B7_NO	2.5 V (default)	
LCD_RS	Output	PIN_B11	7	B7_NO	2.5 V (default)	
oCS_n	Output	PIN_A3	8	B8_NO	2.5 V (default)	
oDIN	Output	PIN_B3	8	B8_NO	2.5 V (default)	
oSCLK	Output	PIN_B4	8	B8_NO	2.5 V (default)	

Figura 21: Pines de selección de la DEO nano : Autor.

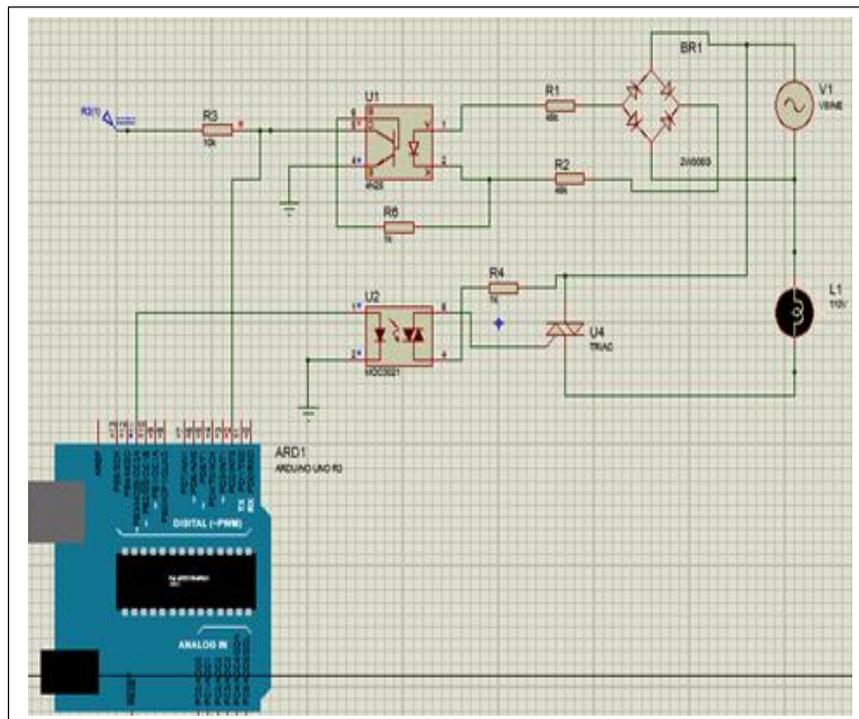
#### 4.1.5. DISEÑO DE ADAPTACIÓN DEL CIRCUITO PARA CONTROL DE BOMBA

El control de nivel del tanque está compuesto de dos actuadores que son la bomba monofásica y el variador de frecuencia que actúa recortando la señal hacia la bomba, para disminuir o aumentar el flujo de agua o el caudal sobre la tubería, como consecuencia se obtiene la variación del nivel en el tanque.

Las características de la bomba de agua a utilizarse son 0.5 Hp, 0.37 kW, 110V. La bomba forma parte de las familias centrífugas, y alcanza un caudal de hasta 600 l/min (36 m<sup>3</sup>/h). Este circuito de adaptación para variación de la bomba consta de los siguientes elementos:

Un triac, dos optocopladores, un puente rectificador. El conjunto optotriac y el triac son los responsables de activar la señal correspondiente alterna sobre la carga, el conjunto opto transistor y puente rectificador son los responsables de la detección cruce por cero de la señal alterna. Todo el conjunto de dispositivos interconectados con el control de arduino, funciona de la siguiente manera, la señal alterna ingresa por el puente rectificador de manera que esta señal es rectificada, obteniendo en la salida una señal de media onda positiva, esto significa que el voltaje varía entre 0 V y el V máximo, cuando el voltaje es cero la señal en el optotransistor está en corte esto significa que hay información de señal detectada en el arduino, el controlador reconoce en ese instante que es un cruce por cero, que va a servir para generar la señal recortadora hacia la bomba .

Realización de la simulación del dimmer en el programa Proteus 8 profesional, demostración que funciona correctamente el programa.



**Figura 22:** Diseño de adaptación para control de bomba: Autor.

Una vez detectado el cruce por cero el arduino genera una señal de salida que es enviada hacia el optotriac y este a su vez actúa sobre el triac, el cual modifica la velocidad del motor, es así como se obtiene la variación de velocidad sobre la bomba de agua.

#### 4.1.6. DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN DEL FLUIDO



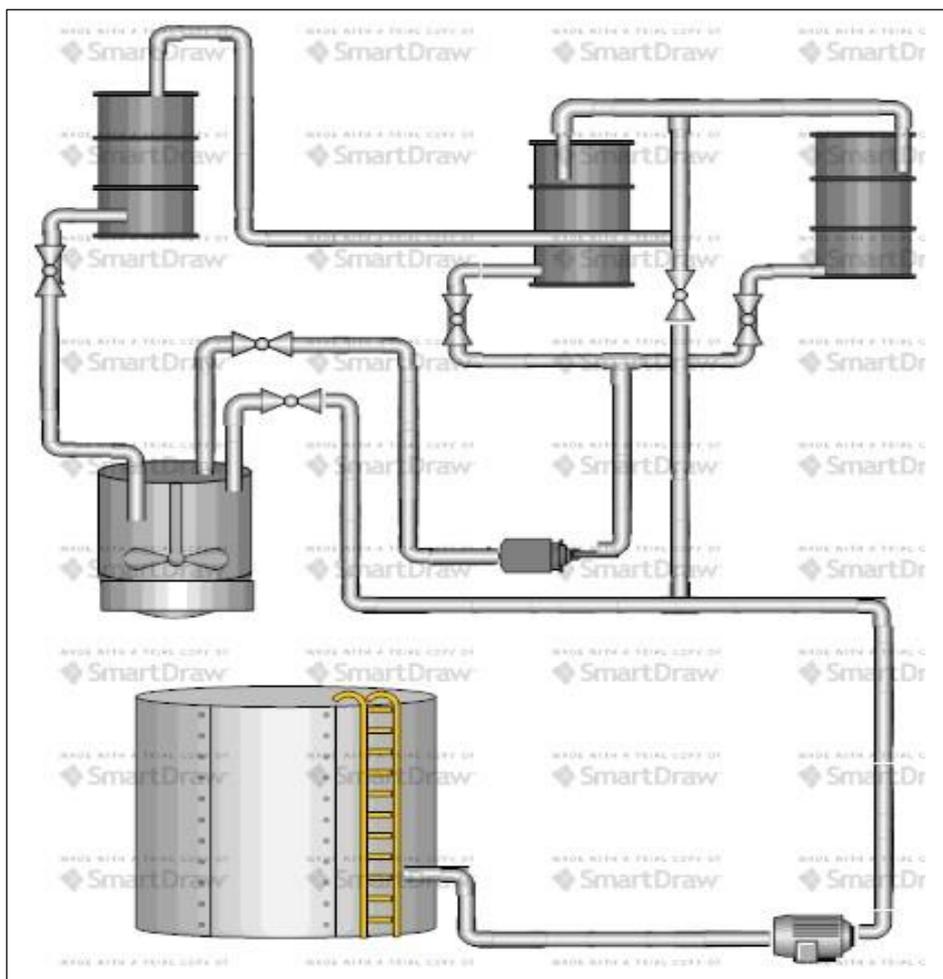
**Figura 23:** Electroválvula: Autor

Se utilizan cinco electroválvulas en el control del flujo, para el proceso que consiste en la entrada de líquido hacia el tanque, este mismo proceso se repite en los cinco tanques del sistema.

Siempre que se trate de controlar automáticamente el caudal de los fluidos se utilizan electroválvulas.

MODELO	ETL22/ETL22A/TOP26/TOP26A	
Tension (V)	127	220
Potencia(W)	5	5
Resistencia (ohm)	1.060+/-105	2.75+/-270

**Tabla 18:** Especificaciones de la válvula.: Electro lux.



**Figura 24:** Posicionamiento de electroválvulas en las tuberías: Autor.

#### 4.1.7. DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDIDA DE NIVEL DE pH.

La medida de nivel de ph se utiliza un sensor aplicando el método electroquímico para medir pH de una disolución. El pH es la medición de acidez o alcalinidad presente en un líquido. Es uno de los parámetros de medición más comunes y se aplica en diversos tipos de procesos industriales tales como: agua potable y tratamiento de aguas.

El sensor de pH a utilizar en el módulo didáctico puede testear el valor de pH y la medida de cloro, no necesita de agentes químicos para su calibración. El intervalo de la medida de seguridad para el agua está en un nivel de cloro desde 1,2 a 1,7 ppm y el intervalo de la medida de seguridad del nivel de pH es de 7,2 a 7,8.

El rango de medición del nivel de cloro es de menos 0.2 a más 3.0 y el nivel de pH va desde menos 5.5 hasta más de 9.0, el dispositivo tiene un peso de 198 g.



**Figura 25:** Sensor de pH.: Autor.

Las dimensiones del sensor de 142 x 90 x 30 mm. Este sensor se encargará de analizar la alcalinidad del proceso, las condiciones para realizar aquello esta dado mediante la dosis de líquido a aplicar en función de la medida tomada del pH, esto consiste agregar una cantidad de solvente al líquido que se encuentra en el tanque principal.

#### **4.1.8. DISEÑO DE INTERFAZ PARA LOS ACTUADORES**

El módulo disparador de ocho Relés sirve para el manejo de cargas de gran Potencia. Entre las aplicaciones está el encendido o el apagado de motores AC y el control ON/OFF de luces. El módulo disparador tiene un led indicador de activación de relé, led indicadores de alimentación, salidas mediante terminales individuales para cada relé y voltaje de alimentación independiente para cada switch relé. La fuente de alimentación es de 5 y 12 VDC.

##### **Señales de Control**

5V: Señal de alimentación para bloque de control

12V: Señal de alimentación para relé.

RL1, RL2, RL3, RL4, RL5, RL6, RL7, RL8: Señales disparadores de relé (5V relé activo)-0V (relé desactivado).

## Salidas

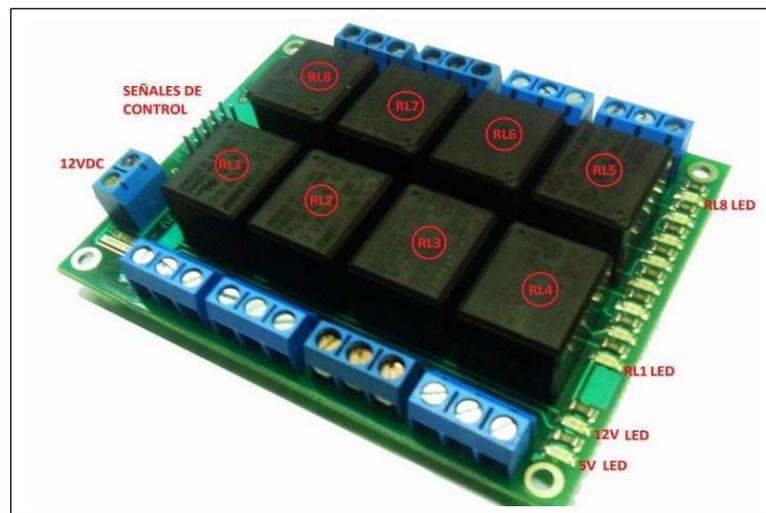
NO: Cuando el Relé está en estado abierto

NC: Cuando el Relé está en estado cerrado

C: Pin común para la referencia en la conmutación del relé

La carga en la salida puede ser con los siguientes parámetros: 110V/10A; 28V/10A; 24V/15A; 240V/7<sup>a</sup> (IDETEC, 2015).

La tarjeta de relé se utiliza para activar las electroválvulas y bombas en función de la señal de control que viene del arduino, se tiene la disposición de 12 relés para 5 indicadores, 2 bombas y 5 electroválvulas.

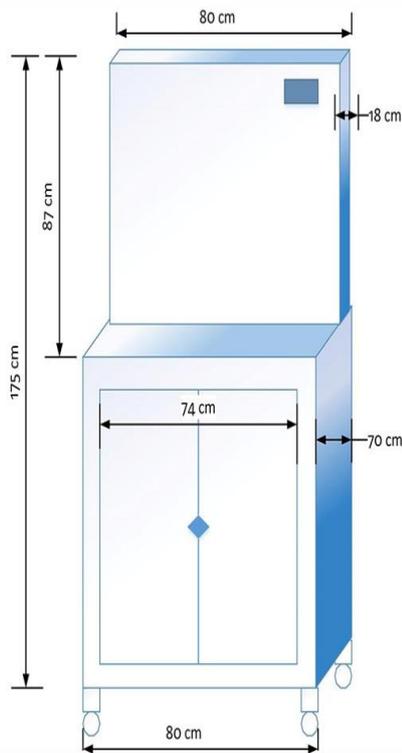


**Figura 26:** Módulo disparador de relé.: ideas & tecnologías.

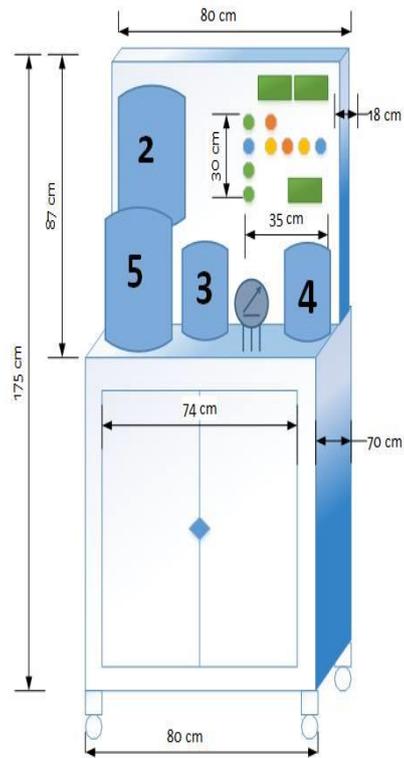
### 4.1.9. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA MODULAR

Esta estructura es similar a los módulos de FESTO porque tiene una robustez y la sencillez de un módulo didáctico para control automático aunque el sistema planteado no contenga los dispositivos industriales se utilizan elementos de control alternativos como micro controladores y FPGA, el conjunto de elementos que permiten mostrar como sucede el proceso tienen las características y dimensiones apropiadas de un módulo didáctico de esta manera se plantean la estructura y dimensiones del módulo.

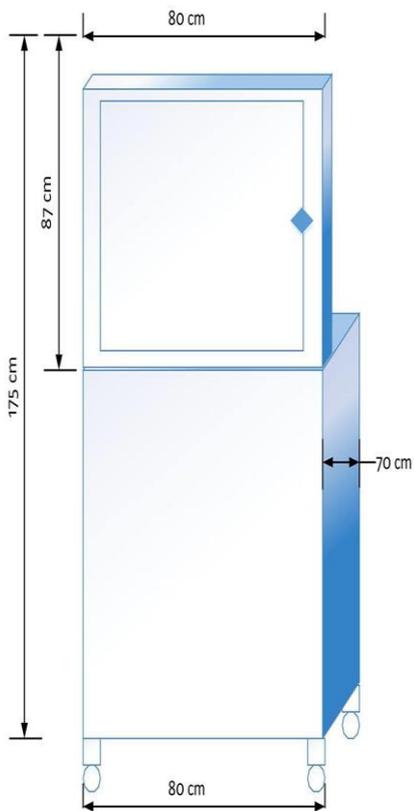
Características: La estructura está realizada en aluminio cuyas características se muestran en las siguientes gráficas.



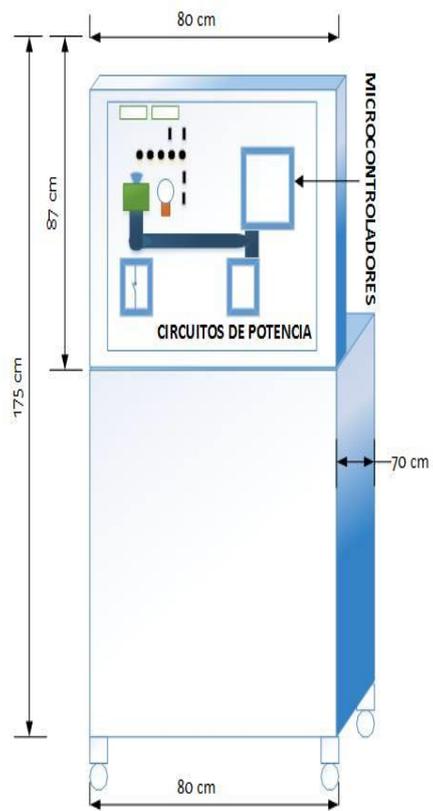
**Figura 27:** Esquema básico frontal



**Figura 28:** Área de los dispositivos

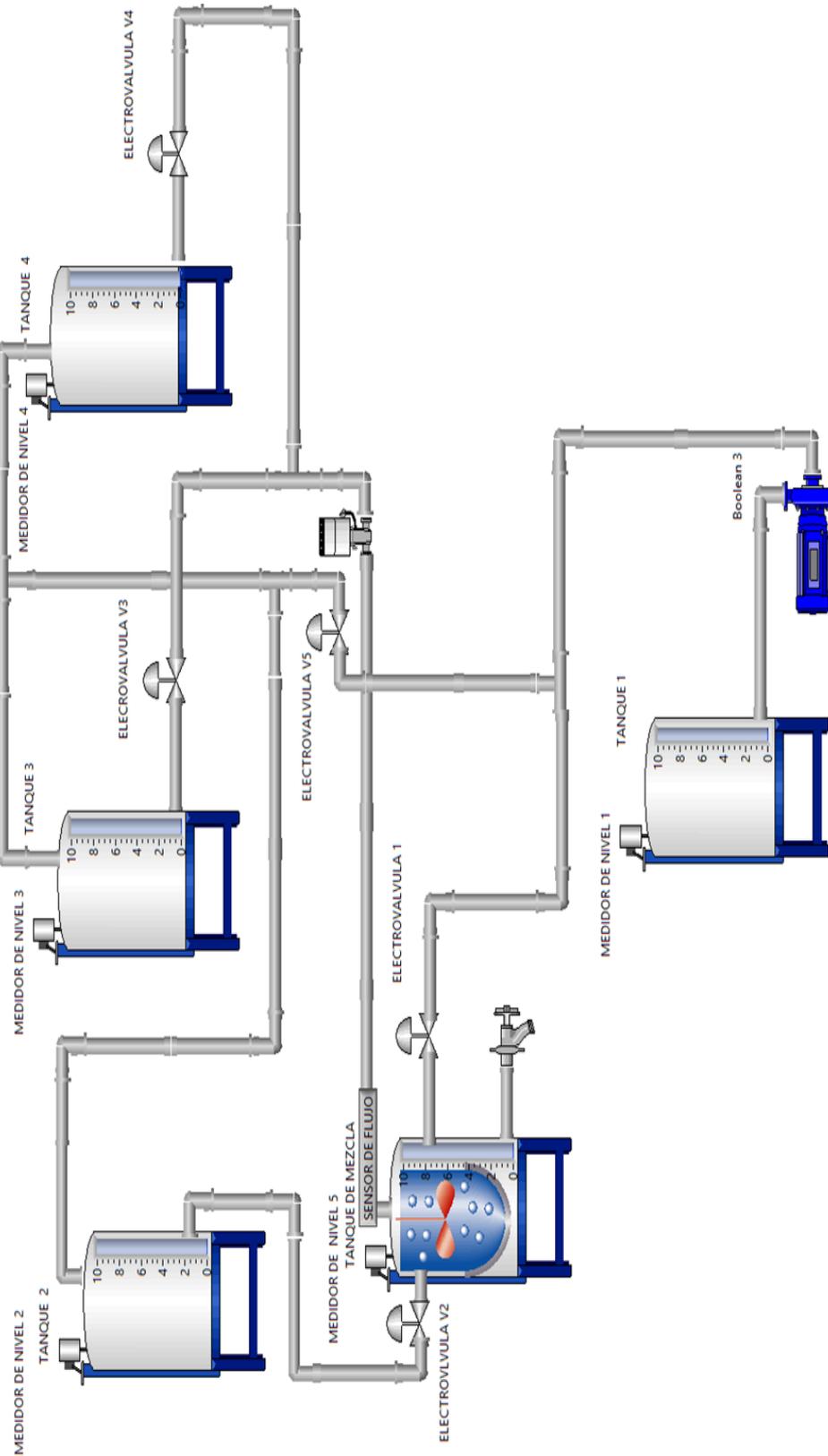


**Figura 29:** Medidas y parte trasera del módulo.



**Figura 30:** microcontroladores, controladores y sensores

#### 4.1.10.DISEÑO DEL SISTEMA HIDRODINÁMICO



**Figura 31:** Descripción física del sistema automatizado. **Fuente:** Autor

## **PROCESOS DEL SISTEMA HIDRODINAMICO A DESARROLLAR**

En esta sección se plantea lo relacionado con el tratamiento de potabilización del agua dicho sistema se presentan etapas previas establecidas en la figura 4.22, la potabilización de agua y está representado por las siguientes etapas:

### **DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL SISTEMA AUTOMATIZADO**

**ETAPA 1:** Con el agua de reservorio se hará una simulación de llenado de líquidos hacia el tanque T5 hasta llegar a un volumen de 10 litros.

1. El tanque de agua a potabilizar, se encuentra almacenada en el primer tanque (TANQUE 1), servirá de alimentación de líquido para el resto de tanques, para el proceso se utilizará una bomba monofásica, que está conectado a un variador de frecuencia que a su vez permitirá variar el caudal del líquido, la salida del agua en este proceso es entregada hacia el tanque de PRINCIPAL.

La medida del volumen en el tanque T1 se realizará mediante un sensor ultrasónico, para obtener datos de distancia que representa el nivel de líquido.

La medida de nivel de líquido será utilizada para comparar con el código del controlador para manipular las salidas del control de llenado de los líquidos hacia el tanque.

En la etapa de bombeo se utiliza un conjunto de actuadores que estará representado por la combinación de una bomba con el variador de velocidad, el controlador actúa junto con el variador de velocidad y la bomba, esto haría que varíe la salida del caudal en la tubería, la capacidad de respuesta para esta etapa indicará que mientras no haya apertura de la válvula no se podrán observar las variaciones del caudal.

El líquido será bombeado y enviado por tuberías hacia el tanque que se lo ha nombrado como “TANQUE PRINCIPAL” donde se realizará los procesos para la potabilización del agua.

En este proceso se activará la electroválvula (V1) y Bomba (B1).

La bomba (B1), impulsará al líquido por medio de la válvula V5 hacia los tanques T2, T3, T4. La medida del volumen de los tanques T2, T3, T4 se realizará mediante un sensor ultrasónico, para obtener datos de distancia que representa el nivel de líquido. La medida de nivel de líquido será utilizada para comparar con el código del controlador para cambiar las salidas del control de llenado de los líquidos hacia el tanque. En la etapa de bombeo se plantea utilizar un actuador que estará representado por la combinación de la bomba y la electroválvula. En este proceso se activará la electroválvula (V5) y Bomba (B1).

**ETAPA 2:** Con el agua de reservorio se hará una simulación de llenado de líquidos hacia los tanques T2, T3, T4 hasta llegar a un nivel de 10 de litros, estos representan la cantidad de químicos aplicados en la potabilización.

2. El líquido será enviado por las tuberías hacia el “TANQUE PRINCIPAL”, para este proceso será necesario la activación de la electroválvula (V2) debido a que el tanque T2 se encuentra a una altura superior al tanque principal, la gravedad ayuda a que el líquido baje para cumplir con el llenado agregándose de esta manera una pequeña cantidad del líquido del tanque “2” hacia el TANQUE PRINCIPAL, y este líquido es almacenado en el tanque donde continuarán con el proceso siguiente de purificación del agua.

La medida de nivel de líquido en el tanque t2 será realizada mediante un sensor ultrasónico. La señal del sensor es enviada hacia el controlador para poder obtener la información necesaria de distancia o medida de nivel, y así manipular las salidas del control sobre los actuadores para realizar el proceso de llenado de los líquidos hacia el tanque.

**ETAPA 3:** El tanque T2 contiene líquido que representa el cloro, este proceso consiste en agregar esta sustancia química hacia el tanque principal T5 hasta completar un volumen de 1 litros.

3. Se agrega una pequeña sustancia del tanque “2”, hacia el TANQUE PRINCIPAL.

El líquido es enviado por tuberías hacia al “TANQUE PRINCIPAL”, y este líquido es almacenado en el tanque donde continuaran con el proceso siguiente de purificación del Agua.

En este proceso fue necesaria la activación de la electroválvula (V3) y bomba (B2).

La medición del nivel de líquido en el tanque es realizada mediante un sensor ultrasónico. Dicha señal es alimentada al controlador para obtener la información necesaria, y así poder manipular las salidas del control de llenado de los líquidos hacia el tanque.

**ETAPA 4:** El tanque T3 contiene líquido que representa el bromo, este proceso consiste en agregar esta sustancia química hacia el tanque principal T5 hasta completar un volumen de 2 litros.

4. Se agrega una pequeña sustancia del tanque “5”, hacia el TANQUE PRINCIPAL. El líquido es enviado por tuberías hacia el “TANQUE PRINCIPAL” y este líquido es almacenado en el tanque principal donde continuaran con el proceso siguiente de purificación del Agua.

En este proceso fue necesaria la activación de la electroválvula (V 4) y bomba (B2). La medición del nivel de líquido en el tanque es realizada mediante un sensor ultrasónico. Dicha señal es alimentada al controlador para obtener la información necesaria, y así poder manipular las salidas del control de llenado de los líquidos hacia el tanque

**ETAPA 5:** El tanque T4 contiene líquido que representa el yodo, este proceso consiste en agregar esta sustancia química hacia el tanque principal T5 hasta completar un volumen de 3 litros.

5. Agregadas las sustancias de los tanques “T1, T2, T3, T5 “, hacia el TANQUE PRINCIPAL en donde es almacenado para la purificación del agua , a través de tuberías de  $\frac{1}{2}$  que transportaron el fluido líquido al tanque T5.

Se trata del tanque en el cual se va a realizar en control de nivel, este está encargado de realizar las mediciones correctas de nivel de los líquidos, caudal, temperatura. Los líquidos ingresados por los diferentes tanques, T1, T2, T3, T5, en esta última etapa se obtienen los datos respectivos del pH, obteniendo a la salida del proceso un nivel de pH adecuado que es un nivel promedio de 7.0 cumpliendo así con el estándar requerido. En este proceso fue necesaria la activación de todos los procesos de las electroválvulas (V1, V2, V3, V4, V 5) y las bombas (B1, B2).

La medición del nivel de líquido se realizó mediante los diferentes sensores ultrasónicos.

## **DISEÑO DE ADQUISICIÓN DE DATOS.**

La adquisición de datos, consiste en la toma de muestras datos que puedan ser manipulados por un computador. Tomando un conjunto de variables físicas, generalmente datos obtenidos por los sensores y transductores

Entre los tipos de sistemas de adquisición de datos estarán interconectadas al computador tenemos los sensores, LCD, monitor y los microcontroladores, FPGAs y arduino, que son tecnologías empleadas para fines didácticos.

## **CARACTERÍSTICAS DEL CÓDIGO**

El código del simulador se compone de dos partes: el sistema a ser controlado y el controlador en conjunto con el hardware y el software que son utilizados en el proyecto.

**CONTROLADOR.-** El usuario manipula el comportamiento del sistema a través del controlador. El control On/Off que se utilizan para controlar el flujo y nivel medida de líquido del tanque. Los parámetros se controlan manualmente.

**SISTEMA A CONTROLAR.-** el proceso simula una planta didáctica de control para potabilización del agua, está conformada por varios tanques y un tanque de proceso de almacenamiento, sensores de nivel, flujo, temperatura y actuadores. El comportamiento del sistema se mide a través de los sensores que son componentes físicos. El sistema controla un flujo de agua que depende del voltaje suministrada a la bomba en el sistema. El tanque de proceso está equipado con válvulas para controlar el flujo de llenado de líquido al interior del tanque.

## **SIMULACIÓN**

Se presenta una simulación del proceso en el que consiste en incrementar o disminuir el nivel de los tanques está basado en operaciones lógicas y matemáticas. Tanto como las entradas de control y como salidas son manipuladas por la programación que es realizadas en ARDUINO MEGA, esto involucra Toolkits de arduino, sus interface respectiva para el control y a la vez se usó el controlador FPGA en este proyecto. En este se han seleccionado elementos para obtener lecturas como:

Sensor ultrasónico SFR04 para nivel y para la medición de pH, para la medición del valor del pH se utilizó el sensor Quality y en caso que se requiera monitorear temperatura se utilizara el sensor termopar para determinar el rango de temperatura.

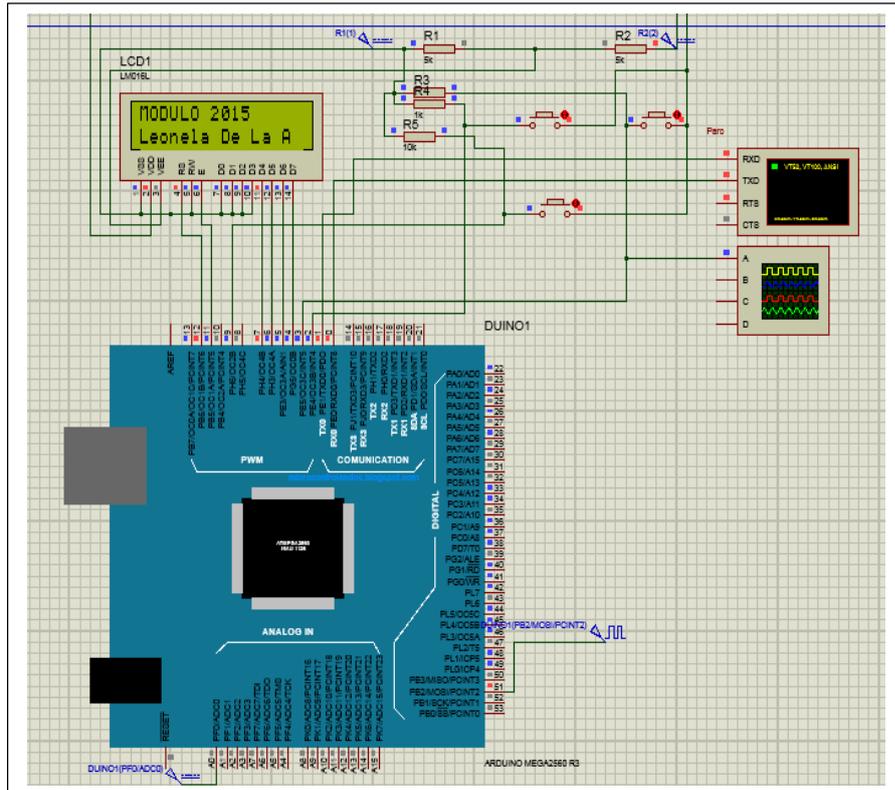


Figura 32: Simulación en Proteus: Autores.

#### 4.1.11. LÓGICA DE CONTROL PARA EL NIVEL.

La lógica de control consiste. En la manipulación de las electroválvulas y las bombas que actúan de acuerdo a los cambios de niveles de agua en los tanques. El sistema está compuesto de entradas de control y de señales salidas. Se plantea un sistema de control de lazo abierto ON OFF dividido en 5 procesos.

**El Paso 1 :** consistirá en que el control arduino envía una señal, para reconocer si el ultrasónico 4, será mayor a 29 en el código `If (Ultra4>29)`, si esta condición llegase a cumplirse se activar la válvula 4, bomba 1, indicador 1, con el siguiente código `B1=1, V1=1, Led1= 1`.

**El Paso 2:** consistirá en que el control arduino envía una señal, para reconocer si el ultrasónico 5,3,4 será mayor a 10 utilizando el código `if ( (ultra5<10) ||`

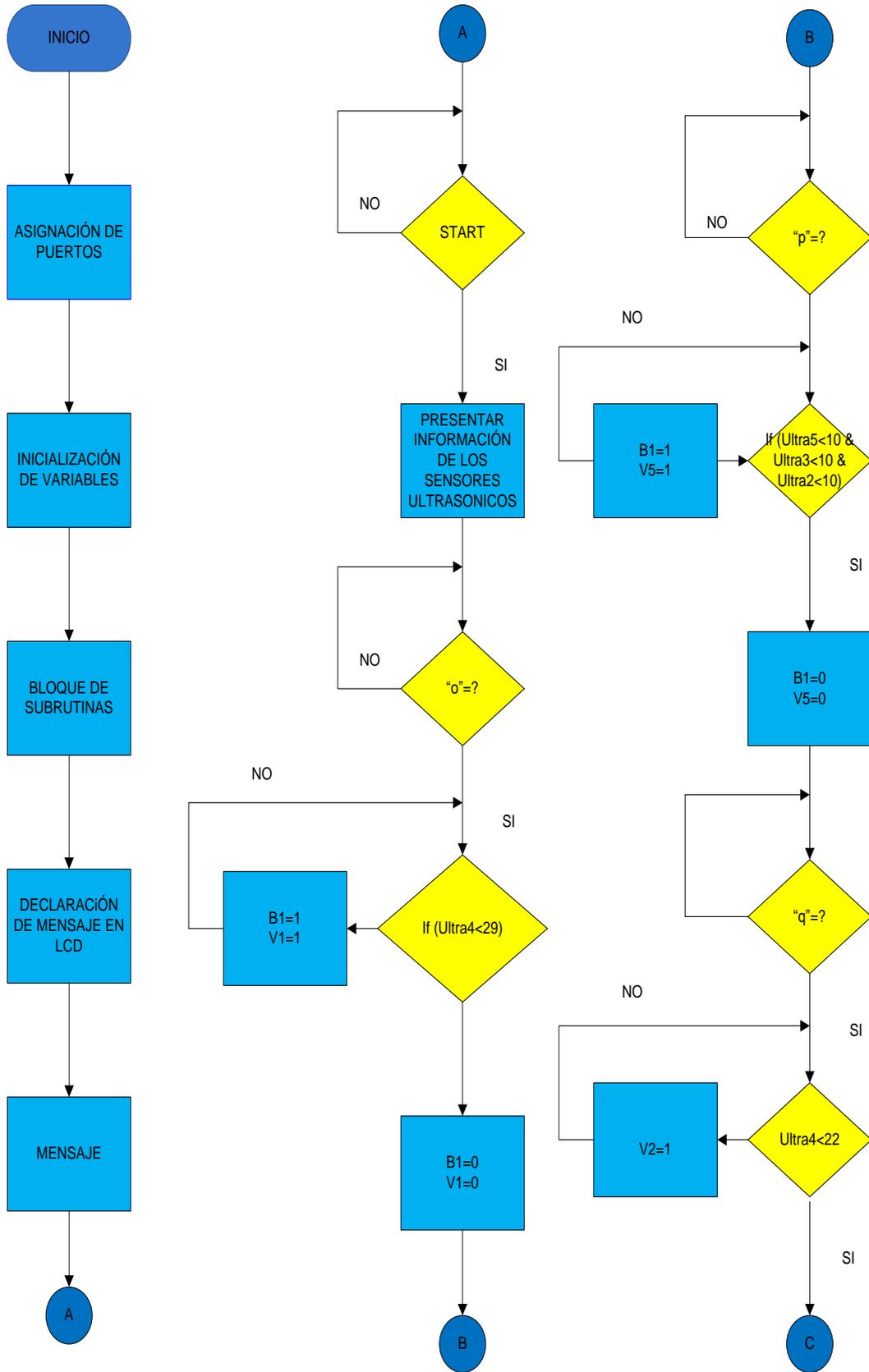
(ultra3<10) || (ultra2<10) ), si esta condición llegase a cumplirse se activa la válvula 5, bomba 1, indicador 2, con el siguiente código B1=1 ,V5=1,Led2=1.

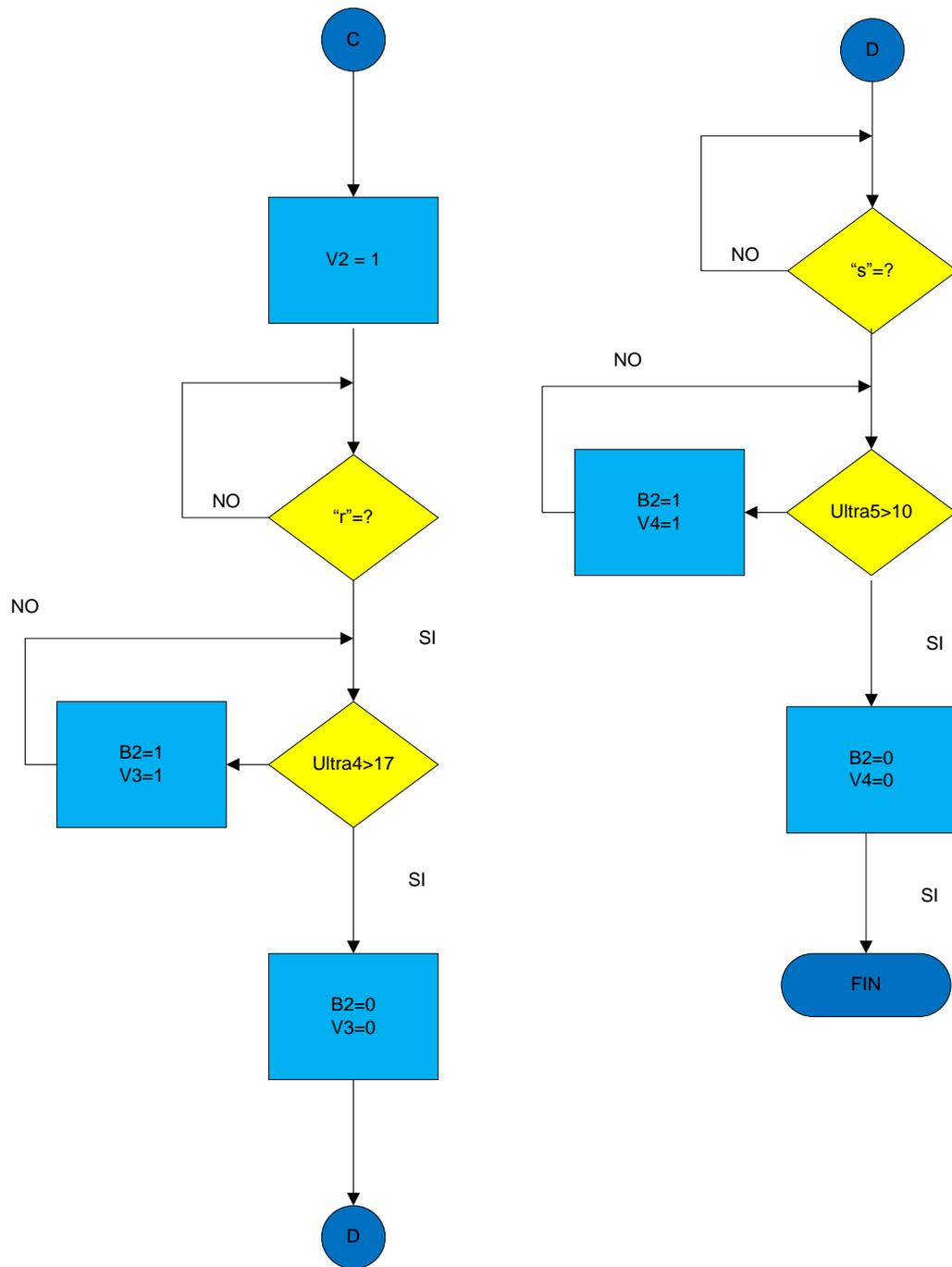
**El Paso 3:** consistirá en que el control arduino envía una señal, para reconocer si el ultrasónico 4, será mayor a 22 en el código If (Ultra4>22), si esta condición llegase a cumplirse se activar la válvula 2, indicador 3, con el siguiente código V2=1, Led3=1.

**El Paso 4:** consistirá en que el control arduino envía una señal, para reconocer si el ultrasónico 4, será mayor a 17 en el código If (Ultra4>17), si esta condición llegase a cumplirse se activar la válvula 3, bomba 2, indicador 4, con el siguiente código cumplirse B2=1, V3=1, Led 4=1.

**El Paso 5:** consistirá en que el control arduino envía una señal, para reconocer si el ultrasónico 4, será mayor a 10 en el código if (Ultra4>10), si esta condición llegase a cumplirse se activar la válvula 4, bomba 2, indicador 5, con el siguiente código B2=1, V4=1, Led 5 = 1

A continuación se presenta el diagrama de flujo de la lógica de control utilizada en el sistema modular

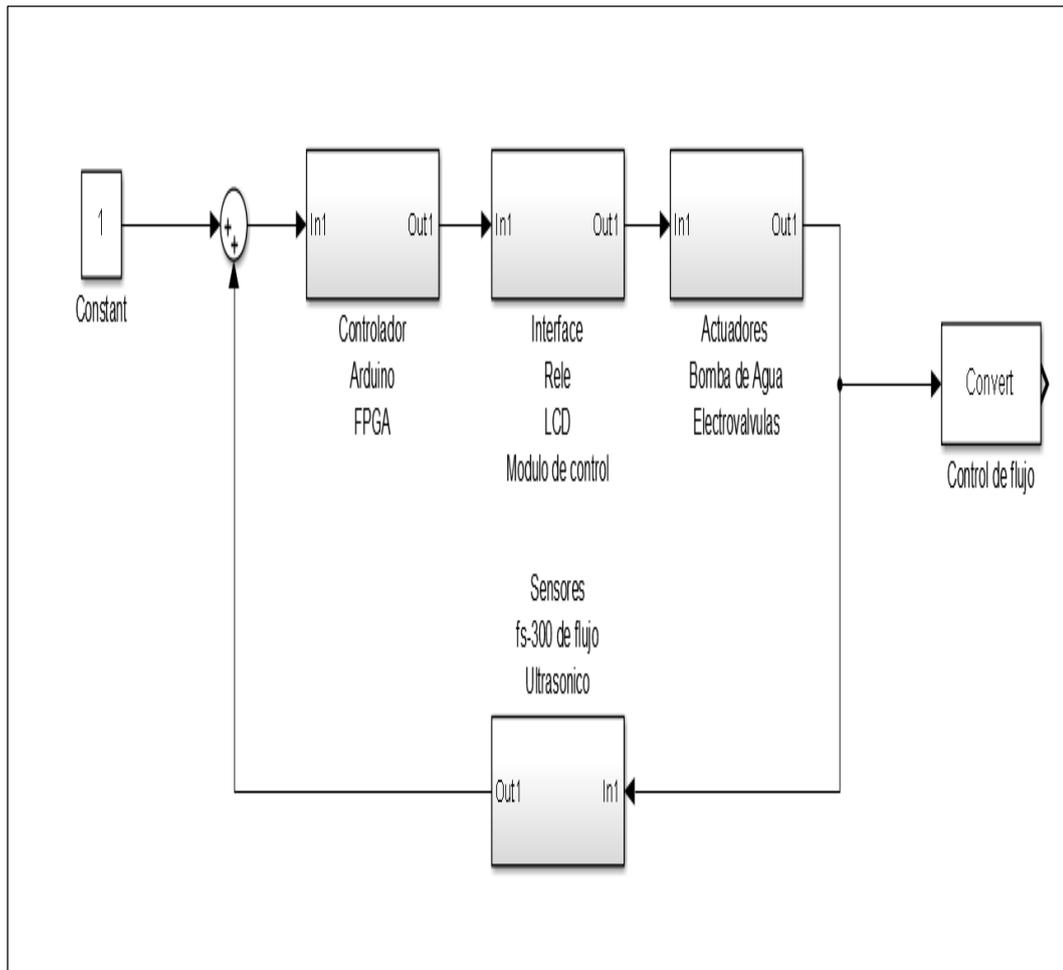




**Figura 33:** Diagrama de flujo de procesos

**Fuente:** Autor.

#### 4.1.12. LÓGICA PARA CONTROL DE FLUJO



**Figura 34:** Diagrama de lazo cerrado de control de fluido.

**Fuente:** Autor

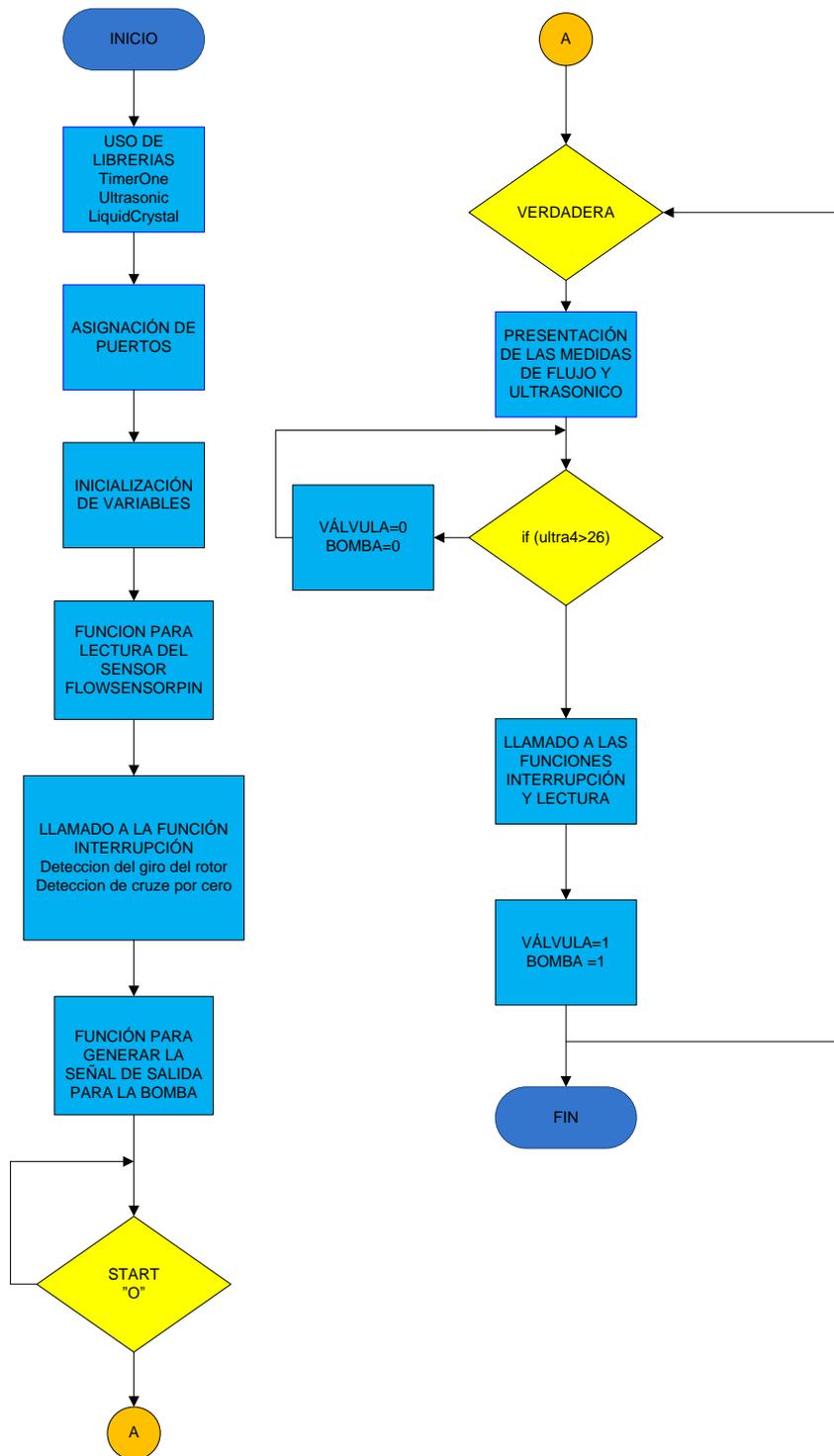
El diagrama representa el sistema de llenado de tanque con medición del fluido y variación del voltaje de bomba, la retroalimentación comienza con el control del llenado del tanque a medida que el nivel de líquido va subiendo el control de flujo va variando este va aumentando para este proceso fue necesario el uso del controlador arduino.

Para el control del fluido para el llenado fue necesaria el uso de un variador de frecuencia y el código correspondiente en arduino que está en el anexo 2, a medida que se modifica el código en el arduino de valor o máximo al mínimo el volumen de llenado disminuirá de acuerdo al valor que asignemos, la medida de distancia del ultrasónico y la medida del flujo metro va ser presentado en display LCD 16x2, Para las medida del flujo metro se activaron las bombas y electroválvulas, el sistema de recorte de señal alterna funciona con un circuito dimmer para el aumentar el movimiento de la bomba de agua y con esto el fluido en la tubería.

### **DIAGRAMA DE FLUJO PARA EL MEDICIÓN DE FLUIDO**

La mediciones de flujo empieza con la asignación de puertos, inicialización de variables, función para la lectura del sensor FLOWSENSORPIN, el llamado de la función interrupción que detectara el giro del rotor luego se ejecutará la acción de variador de frecuencia, y que comienza con el cruce por cero de la señal alterna, luego habrá una condición de START, y luego se presentarán los datos en el LCD de la medidas del flujo y ultrasónico en litros y distancia respectivamente.

Este evaluará la condición si el ultrasónico 4 es mayor a 26 cm distancia asignada para un volumen 4.5 litros determinado en el tanque, luego se activarán la bomba y la electroválvula caso contrario las bomba y electroválvula se apagará y no continuará con el proceso.



**Figura 35:** Diagrama de flujo de procesos

**Fuente:** Autor.

# CAPÍTULO V

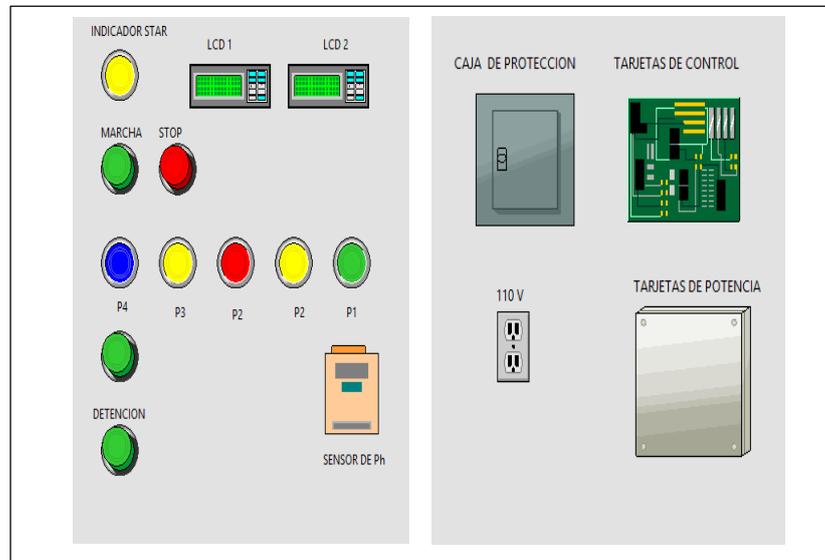
## IMPLEMENTACIÓN.

### 4. IMPLEMENTACIÓN DEL MÓDULO DE CONTROL

El módulo implementado para proceso de potabilización del agua, está conformado por dos sistemas conjuntos un sistema eléctrico y un sistema hidrodinámico, el fluido de líquido a través de las tuberías es debidamente controlada por el sistema eléctrico que contiene un bloque de control encargada de realizar la secuencia lógica de la programación incluida en el microcontrolador, y esta programación está ligada a los elementos sensores y actuadores.

#### 4.1. CONSTRUCCIÓN

##### 4.1.11. PANEL



**Figura 36:** Características del panel.: Autor

Panel de operación parte frontal.- En la implementación se consideró cada uno de los dispositivos necesarios para la manipulación y visualización de datos, aquí están ubicados cada uno de los indicadores, pulsadores y LCD. Estos dispositivos son necesarios para el funcionamiento del sistema, además se implementaron en el módulo didáctico dispositivos adicionales como se observan en la figura 37: como es la caja de protección de breaker.



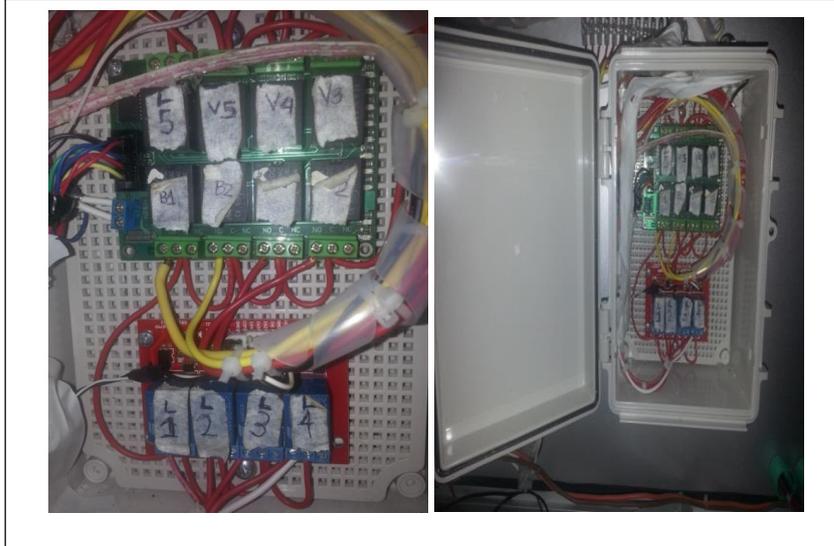
**Figura 37:** Panel de operación frontal: Autor

Panel de operación en la parte posterior de la implementación fue necesaria la conexión de voltajes de los indicadores y pulsadores estos están conectados en la tarjeta de potencia y los LCD y bloques de microcontroladores FPGA y arduino.



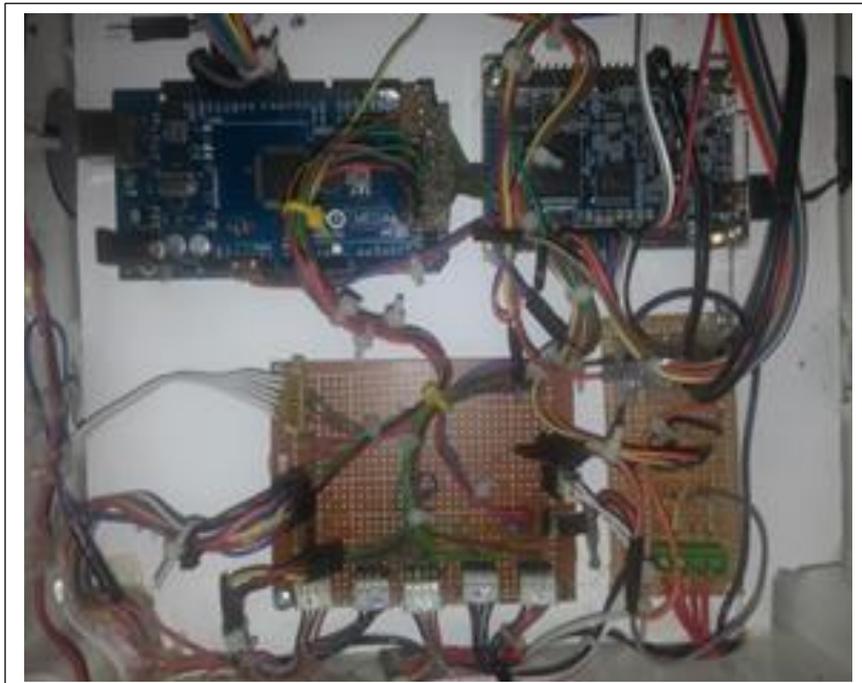
**Figura 38:** Panel de operación posterior: Autor.

El bloque de control esta ubicado en la parte posterior del modulo alli estan ubicadas las tarjetas microcontroladoras en conjunto con los circuitos de relés, que se conectan a los actuadores .



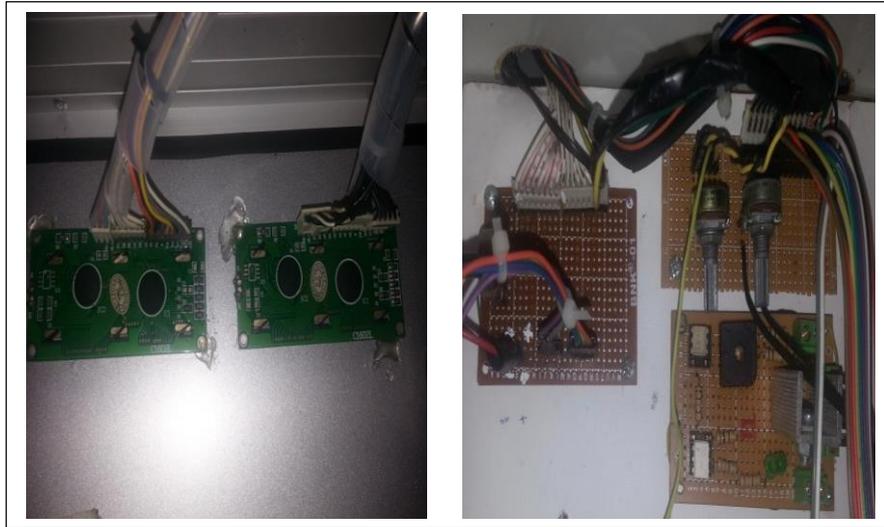
**Figura 39:** Conexión del módulo de control: Autor.

Conexión a las tarjetas microcontroladoras, adaptadas en cada uno de los circuitos con el terminal de interfaz de conexión de los sensores y actuadores



**Figura 40:** Adaptación de pines en las tarjetas: Autor

La interfaz de circuitos utilizados en el panel son varios entre ellos la circuitería para la conexión del dispositivo LCD, así como los circuitos con terminales de conexión para los sensores , que son parte del módulo



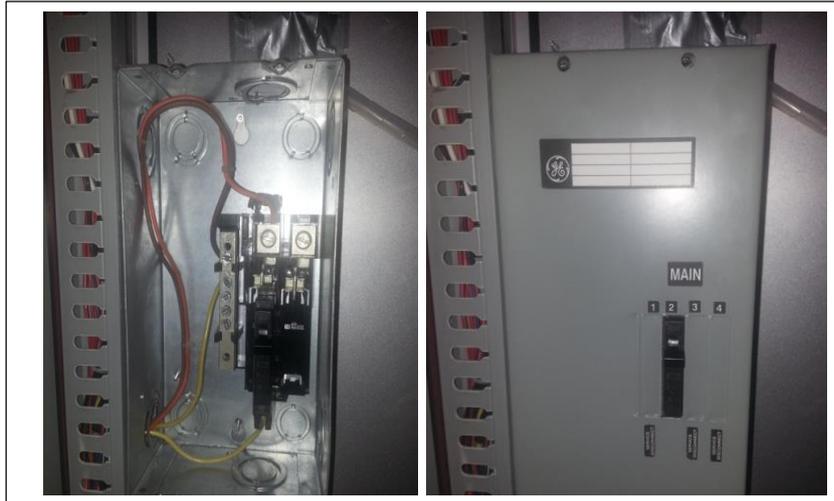
**Figura 41:** Conexión de interfaz con el LCD 16x2 Autor.

En las figuras se muestran circuitos adicionales electrónicos realizados como los circuitos de variador de frecuencia para la bomba.



**Figura 42:** Circuito controlador: Autor

Incluyendo los adaptadores de voltaje de 12V, 5V DC. La entrada de alimentación principal de voltaje de la red es de 110 VAC. Estos circuitos de control están protegidos contra picos de corriente con un breaker de 15 Amp, garantizando una estabilidad en el módulo.



**Figura 43:** Caja de breaker: Autor.

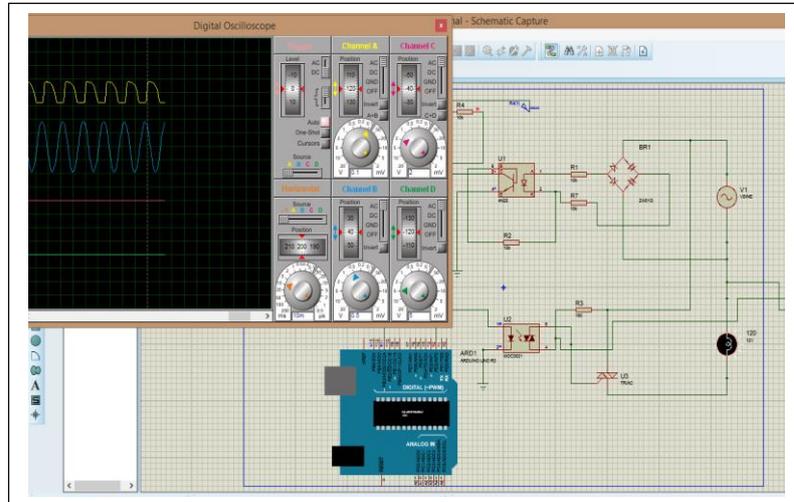
En la figura 5.8 se muestra el módulo implementado aquí se presenta la instalación de tuberías y la conexión eléctrica de las electroválvulas y las bombas para el proceso del control de flujo con circuitos embebidos



**Figura 44:** Módulo didáctico para simulación de potabilización Autor.

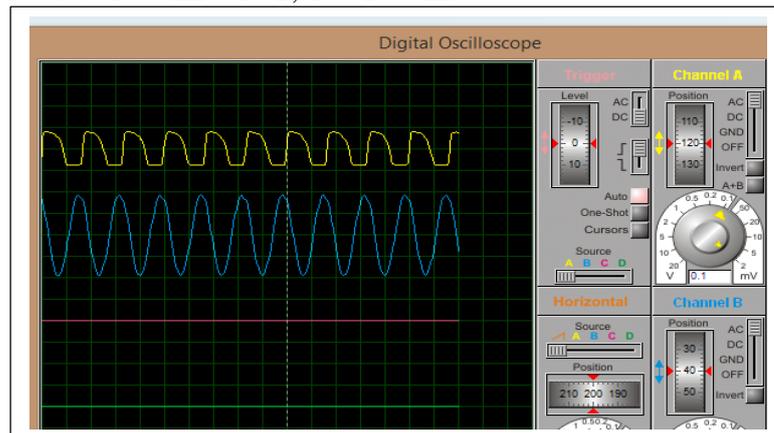
## PRUEBAS PARA CONTROL DE BOMBA

Simulación en proteus para controlar el flujo eléctrico hacia la bomba y lograr la variación de la potencia de la alimentación de corriente alterna



**Figura 45:** Diseño de adaptación para control de bomba: Autor.

Simulación del variador junto al esquema de conexión. El color Amarillo: 0.2 mv, la frecuencia es de  $f=60\text{hz} = 1/T$ ,  $T = 16.6 \text{ ms}$ .



**Figura 46:** Resultado de los cambios de voltaje generado por el variador

### 4.1.12. CONEXIÓN DE E/S DEL CONTROLADOR LA FPGA Y ARDUINO

Contiene pines que son asignados por el usuario y están son útiles para poder manipular variables físicas. La tarjeta tiene e/s digitales y analógicas con pines que proporcionan 5 v, útil para aplicaciones externas. Las salidas de señal de datos que están conectadas a nuestro sistema de control.

## DISTRIBUCIÓN DE E/S

NOMBRE DEL CONECTOR	PUERTOS	ASIGNACIÓN
<b>PULSADORES</b>	Port 2	P1
	Port 3	P2
<b>LCD</b>	Port 4	RS
	Port 5	RW
	Port 6	EN
	Port 7	DB0
	Port 11	DB4
	Port 12	DB5
<b>FOCOS</b>	Port 22	F1
	Port 24	F2
	Port 26	F4
	Port 28	F3
	Port 46	F5
<b>ELECTROVÁLVULAS</b>	Port 36	V 1
	Port 38	V 3
	Port 40	V 2
	Port 44	V 4
	Port 48	V 5
<b>SENSORES</b>	Port 31	ECHO
	Port 33	TRIG
	Port 35	ECHO
	Port 37	TRIG
	Port 39	ECHO
	Port 41	TRIG
	Port 43	ECHO
	Port 45	TRIG
	Port 47	ECHO
	Port 49	TRIG
<b>BOMBAS</b>	Port 34	B2
	Port 42	B1
<b>SENSOR DE FLUJO</b>	Port 2	J

**Tabla 19:** Distribución de entradas y salidas: Autor.

## 4.2. PRUEBAS Y RESULTADOS.

### 4.2.11. EXPERIMENTO 1

Estas pruebas fueron realizadas para comprobar el funcionamiento del módulo con sus componentes respectivamente como son los actuadores, bombas, electroválvulas sensores de nivel, flujo, pH, para ello se realizaron varias pruebas

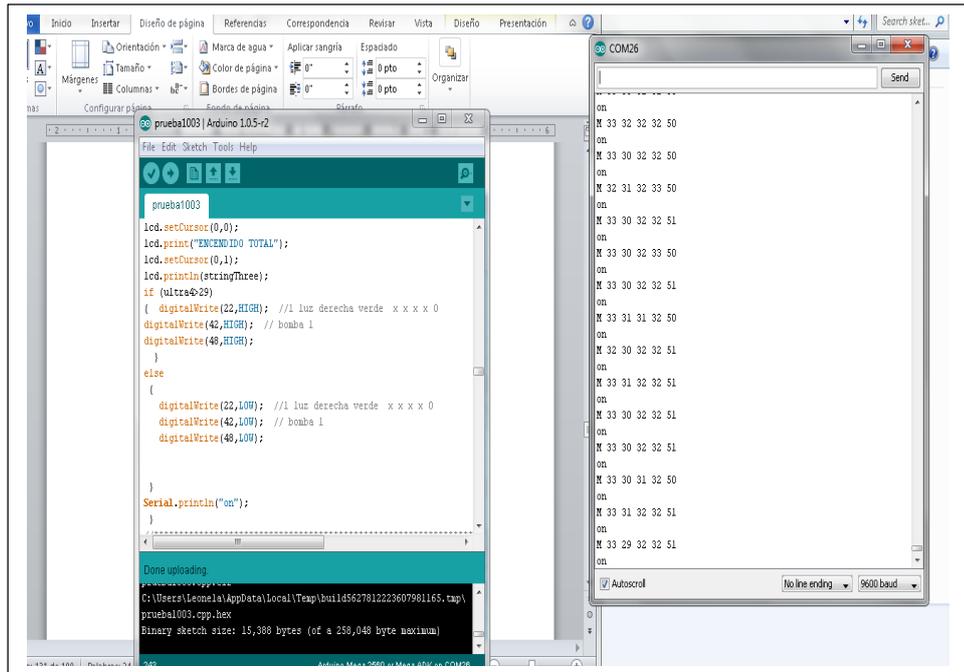
**Objetivo.-** Obtener los datos del volumen en cada etapa con respecto al tiempo del ultrasónico para compararlos

**Criterio de éxito.-** Obtener diferencia mínima de error entre el volumen medido por el ultrasónico y la medida de volumen real a si el error es menor 0.01 se considera exitoso.

**Experimento.-** El experimento consiste en obtener la medida del tiempo en que se demora en completar cada etapa del proceso de llenado, esto significa tomar la medida de llenado de cada tanque, el volumen en litros por tiempo transcurrido, en cada uno de sus procesos

ALTURA DE LOS SENSORES	
SENSORES	ALTURA
SENSOR 1 TANQUE 1	32 cm
SENSOR 2 TANQUE 2	32 cm
SENSOR 3 TANQUE 3	32 cm
SENSOR 4 TANQUE 5	38 cm
SENSOR 5 TANQUE 1	50 cm

**Tabla 20:** H de ultrasónicos: Autor



**Figura 47:** Lectura de ultrasónicos: Autor

La variación del volumen del líquido está dada por la distancia del ultrasónico cuyas alturas de los sensores se muestran.

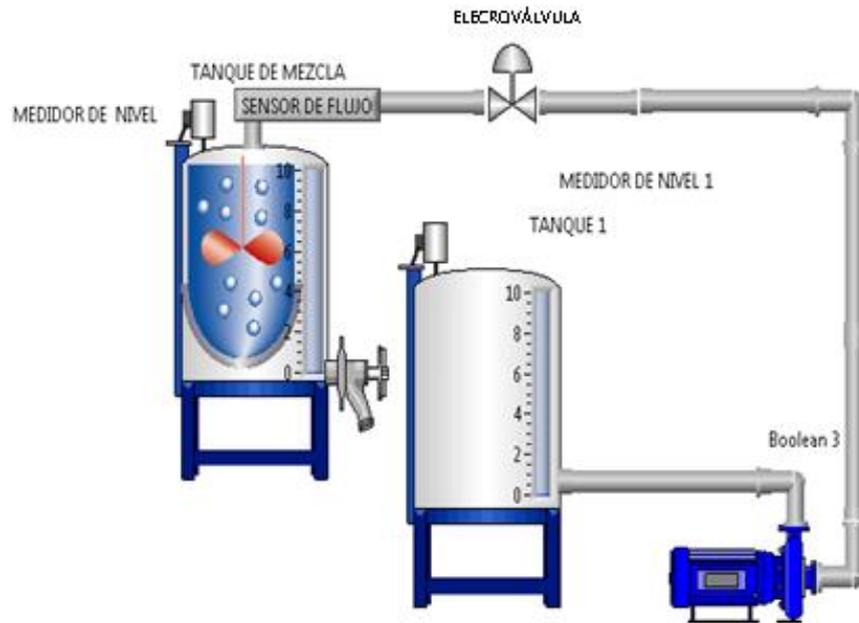


**Figura 48:** Lectura de ultrasónicos en LCD: Autor

## PRUEBAS

PRUEBAS								
PRUEBAS DE TODO EL SISTEMA								
AGUA A TRATAR		LITROS REAL	TIEMPO (s)	VOLUMEN	BASE	ALTURA ULTRASÓNICO	ERROR	
ETAPA 1		6.5	17:00	7.52	396	19	1.02	
		7.0	19:00	7.92	396	20	0.92	
		6.5	20:00	7.52	396	19	1.02	
		6.5	19:00	7.13	396	18	0.63	
		6.5	20:00	7.13	396	18	0.63	
ETAPA 2		T2	5.5	1:26	5.13	270	19	0.37
			5.0	1:28	4.86	270	18	0.14
		T3	9.5	1:20	8.64	360	24	0.86
			9.0	1:00	7.20	360	20	1.80
		T4	6.0	1:00	4.68	234	20	1.32
		5.5	1:15	4.68	234	20	0.82	
AUMENTA EL NIVEL EN TANQUE 5								
ETAPA 3		6.0	7:15	7.04	306	23	1.0	
		6.0	7:00	6.73	306	22	0.7	
		6.5	7:00	7.04	306	23	0.5	
		6.0	7:00	7.04	306	23	1.0	
		6.0	7:00	7.04	306	23	1.0	
ETAPA 4		7.5	3:36	7.56	360	21	0.06	
		7.0	3:36	7.20	360	20	0.20	
		7.0	3:36	7.20	360	20	0.20	
		7.5	3:36	7.20	360	20	-0.30	
		7.0	3:36	7.56	360	21	0.56	
ETAPA 5		9.0	1:55	8.64	432	20	0.4	
		9.0	1:55	8.21	432	19	0.8	
		9.5	1:55	8.21	432	19	1.3	
		9.0	1:55	8.64	432	20	0.4	
		9.0	1:55	8.21	432	19	0.8	

Tabla 21: Prueba del sistema: Autor



**Figura 49:** Diseño para experimentos.: Autor.

#### 4.2.12. EXPERIMENTO 2

**Objetivo.-** El objetivo de esta prueba es hallar el volumen en litros del tanque principal cinco con respecto al fluido desde el tanque 1.

**Criterio de éxito.-** Obtener diferencia mínima de error entre el volumen medido por el ultrasónico y la medida de volumen del sensor de flujo si el error es menor 0.01 se considera exitoso.

**Experimento.-** Se tomó en consideración datos obtenidos con el sensor ultrasónico y los datos obtenidos con el sensor de flujo se realizó una comparación entre medidas de ambos sensores, se tomó valores del volumen en base la fórmula  $v = b \cdot h$  del tanque y medida directa del flujo metro del arduino.

El volumen, como observamos en la tabla, varía con respecto a diferentes medidas de altura usando el sensor ultrasónico



**Figura 50:** Verificación de la presión generada por el caudal: Autor.

Mediante la condición  $ultra4 < 18$  se visualizó en el LCD el valor de la altura del ultrasónico con respecto al flujo de entrada con el sensor de caudal se obtuvo el siguiente valor máximo obtenido en la tabla 22.

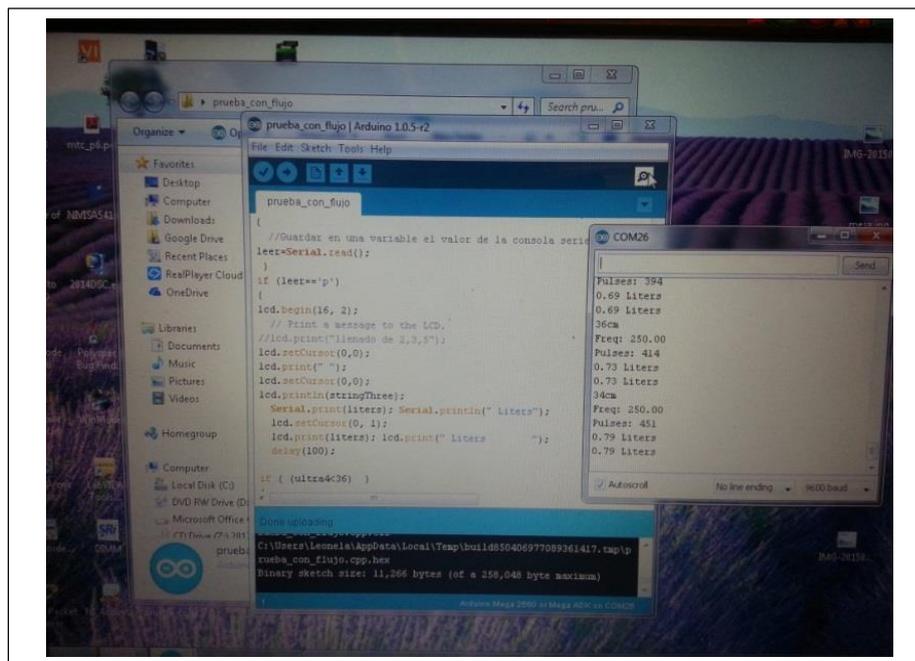


**Figura 51:** Presentación en lcd del volumen.: Autor.

Mediante la condición `ultra4<36` se visualizó en el LCD el valor de la altura del ultrasónico con respecto al flujo de entrada con el sensor de caudal se obtuvo el siguiente valor mínimo obtenido en la tabla 22

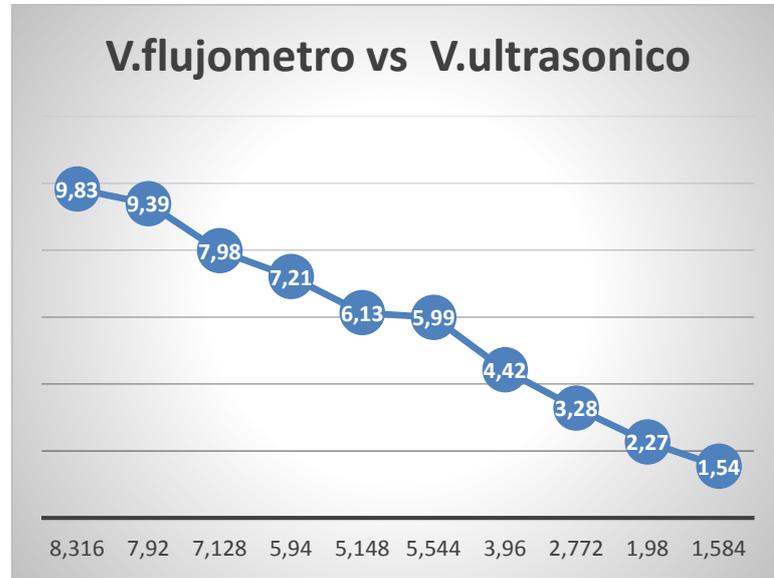


**Figura 52:** Presentación en LCD del volumen prueba. : Autor

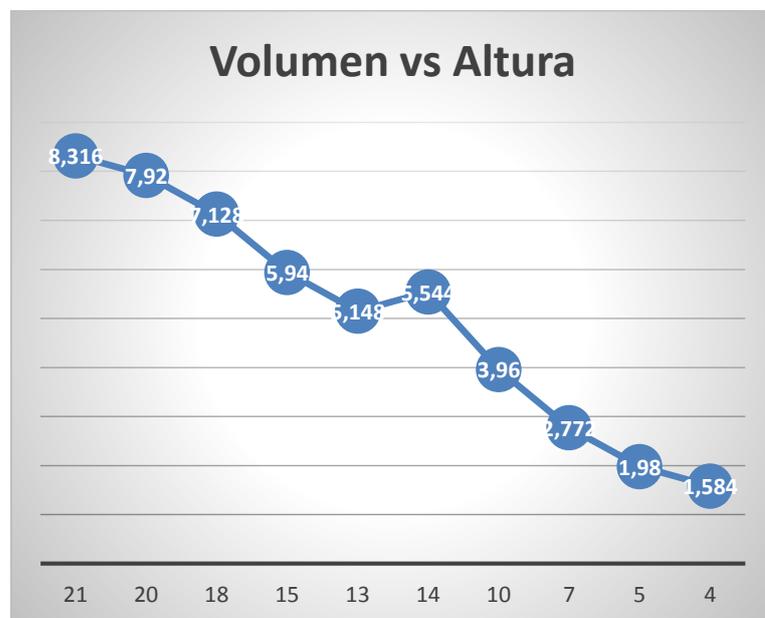


**Figura 53:** Comunicación serial. : Autor

En las figuras describe la medida de los niveles del sensor ultrasónico que representa el nivel de líquido en el tanque, a medida que la cantidad de flujo varía. El caudal del flujometro con respecto al sensor ultrasónico se obtuvo la eficiencia de un 99%.



**Figura 54:** Medida de volumen del flujo metro vs ultrasónico: Autor



**Figura 55:** Volumen del tanque vs Altura del ultrasónico: Autor

PROGRAMACIÓN	H=ULTRASÓNICO	LITROS MEDIDA FLUJOMETRO	VOLUMEN=BASE*ALTURA	B	H	LECTURA EN EL LCD	ERROR	RESULTADO
ultra4<18	17	9.83	8.316	396	21	9.52	1.514	NO EXITOSO
ultra4<20	18	9.39	7.92	396	20	9.47	1.47	NO EXITOSO
ultra4<22	20	7.98	7.128	396	18	7.67	0.852	EXITOSO
ultra4<24	23	7.21	5.94	396	15	6.84	1.27	NO EXITOSO
ultra4<26	25	6.13	5.148	396	13	5.38	0.982	EXITOSO
ultra4<28	24	5.99	5.544	396	14	4.48	0.446	EXITOSO
ultra4<30	28	4.42	3.96	396	10	3.86	0.46	EXITOSO
ultra4<32	31	3.28	2.772	396	7	3.17	0.508	EXITOSO
ultra4<34	33	2.27	1.98	396	5	1.84	0.29	EXITOSO
ultra4<36	34	1.54	1.584	396	4	0.79	-0.044	EXITOSO

**Tabla 22:** Variación del volumen y del flujo: Autor.

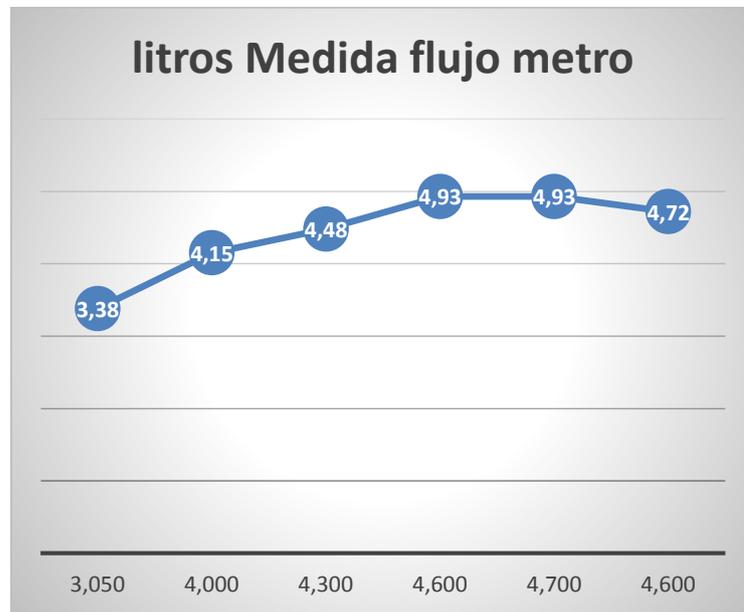
**RESULTADO.-** El experimento se considera exitoso porque cumplió con el criterio en 8 pruebas de 11.

### **EXPERIMENTO 3**

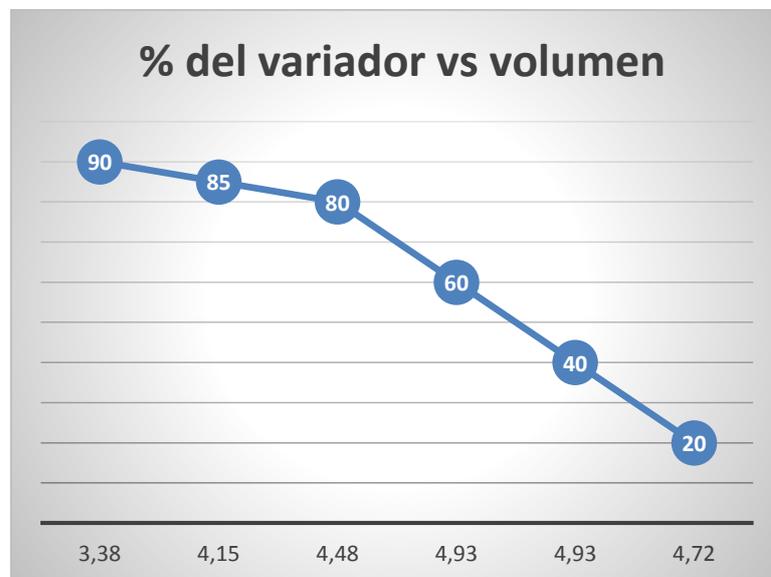
**Objetivo.-** Obtener diferentes volúmenes con respecto al porcentaje de variación del voltaje aplicado a la bomba.

**Criterio de éxito.-** Obtener diferencia mínima de error entre el volumen obtenido por el sensor flujo metro y el volumen real.

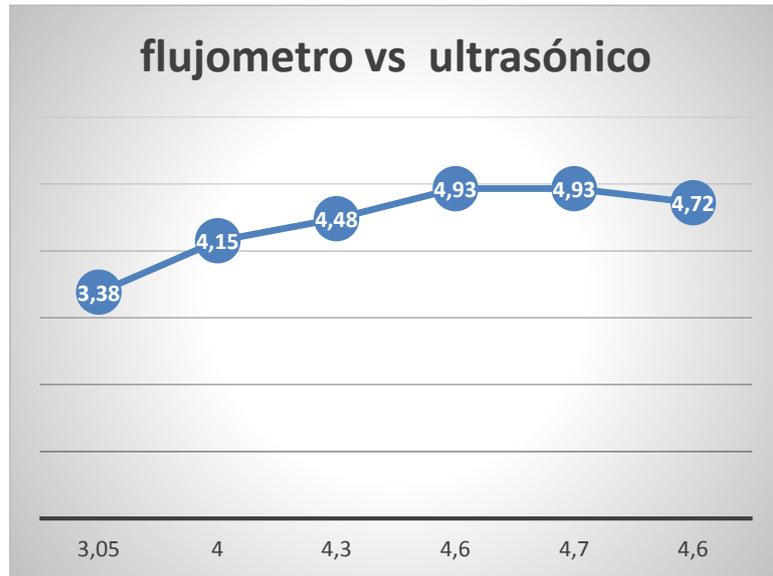
**Experimento.-** Es hallar el caudal de entrada entre el tanque uno y cinco se tomó en consideración datos del sensor ultrasónico y los datos del sensor de flujo se realizó una comparación el volumen del flujo metro entrega, se realiza variaciones de porcentaje en la señal de recorte de la bomba para hacer obtener el valor del volumen.



**Figura 56:** Volumen del flujo metro: Autor



**Figura 57:** % del variador dimmer vs volumen. : Autor.



**Figura 58:** Volumen vs altura del ultrasónico: Autor.

PROGRAMACIÓN DE NIVEL	VARIADO R DIM= %	LITROS REAL EN EL MODULO	LECTURA EN EL LCD	ERROR	RESULTADO
ultra4<26	90	3,05	3,38	0,33	EXITOSO
ultra4<26	85	4	4,15	0,15	EXITOSO
ultra4<26	80	4,3	4,48	0,18	EXITOSO
ultra4<26	60	4	4,93	0,93	NO EXITOSO
ultra4<26	40	4,7	4,93	0,23	EXITOSO
ultra4<26	20	4,6	4,72	0,12	EXITOSO

**Tabla 23:** Variación del volumen y del caudal.: Autor.

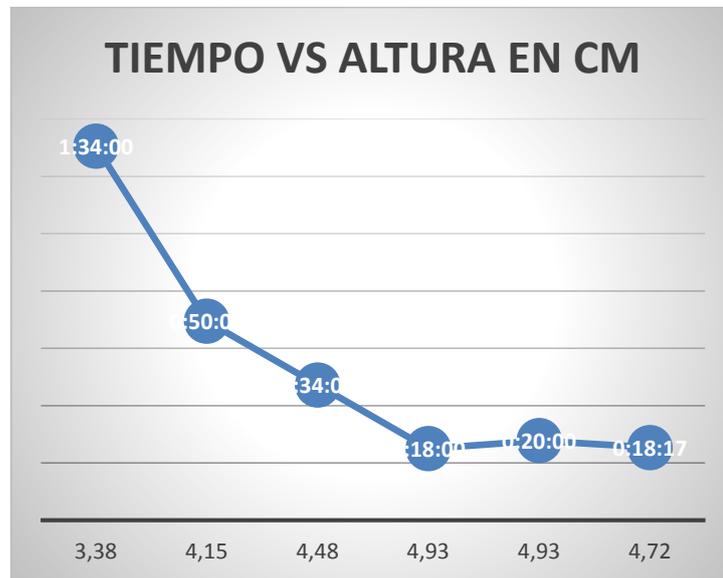
**RESULTADO:** Se considera exitoso porque cumple 5 de 6 pruebas.

#### EXPERIMENTO 4

**Objetivo.-** Obtener diferentes caudales tanto del sensor ultrasónico como del sensor de flujo.

**Criterio de éxito.-** Obtener diferencia mínima de error entre el caudal obtenido por el sensor flujo y caudal obtenido por el sensor ultrasónico en litros /s.

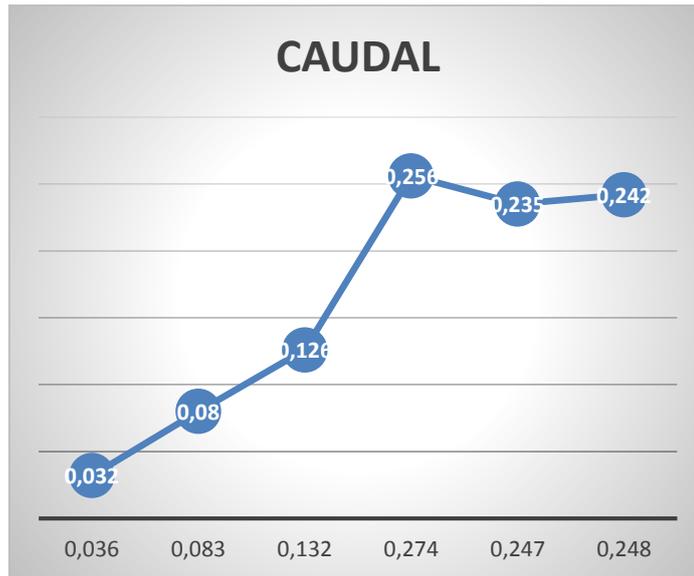
**Experimento.-** Se recogen datos del volumen del sensor ultrasónico y sensor de flujo por un determinado tiempo, luego se determina el caudal dividiendo el volumen por el tiempo .Muestran los dos niveles obtenidos de los sensores.



**Figura 59:** Tiempo vs altura ultrasónica: Autor

PROGRAMACIÓN DE NIVEL	TIEMPO	LITROS EN SERIAL EN PROGRAMA	LITROS REAL EN EL MÓDULO	LECTURA EN EL LCD
ultra4<26	1:34:00	3.38	3.05	3.38
ultra4<26	0:50:00	3.97	4	4.15
ultra4<26	0:34:00	3.73	4.3	4.48
ultra4<26	0:18:00	3.77	4.6	4.93
ultra4<26	0:20:00	4.43	4.7	4.93
ultra4<26	0:18:17	4.72	4.6	4.72

**Tabla 24:** % de variación de caudal. Autor



**Figura 60:** Error de caudal: Autor.

**Tabla 25:** Resultado del experimento. : Autor.

VOLUMEN	L/S=CAUDAL	VOLUMEN	L/S=CAUDAL	ERROR	RESULTADO
3.38	0.036	3.05	0.032	0.004	EXITOSO
4.15	0.083	4	0.080	0.003	EXITOSO
4.48	0.132	4.3	0.126	0.005	EXITOSO
4.93	0.274	4.6	0.256	0.018	EXITOSO
4.93	0.247	4.7	0.235	0.012	EXITOSO
4.72	0.248	4.6	0.242	0.006	EXITOSO

**RESULTADO:** el resultado fue exitoso se cumplieron todas las pruebas Con pruebas de la lógica de la simulación de control con circuitos reprogramables demostrando que fortalecerá el aprendizaje del sistema de control en las líneas de automatización de la potabilización del agua

#### **4.3. Documentación.**

De acuerdo a cada uno de los requerimientos, del módulo, para facilitar el uso del sistema mediante las tarjetas microcontroladora FPGA y arduino

Este documento (ver Anexo7) que permitirá la manipulación del módulo sin ningún problema.

#### **5.4. Demostración de Hipótesis.**

De acuerdo a las pruebas realizadas y a los resultados obtenidos de eficiencia del sistema modular, es posible hacer el análisis del proceso de mezcla de control de flujo en la simulación de potabilización del agua.

## CONCLUSIONES

- El análisis de los resultados obtenidos por la ejecución de proceso de simulación automatizado de potabilización del agua se puede mencionar las siguientes conclusiones
- En la selección de dispositivos didácticos se concluyeron con el análisis y programación de las tarjetas de control arduino y Fpga. para el proceso de mezcla de la potabilización del agua.
- El diseño modular implementado es útil para la simulación del proceso de mezcla de la potabilización del agua.
- Que la creación de un módulo para simulación de automatización para potabilización de agua, se caracteriza por parámetros fundamentales como caudal, tiempo, presión, temperatura, Volumen, pH
- El estudio para efectuar el control de los dispositivos para el llenado de tanques, es una aplicación de la asignatura de sistema digital, con lógica de comparación entre valores de volumen específicos, los resultados de fórmulas aplicadas en la programación se obtuvo un margen de error de 0.1 entre los valores reales del volumen del tanque y los valores obtenidos por el sensor ultrasónico
- Dentro de las pruebas generales sobre el rendimiento de cada etapa de proceso de llenado se hizo un análisis sobre el tiempo de llenado y se obtuvo un valor 00:3:36 en segundos, que es una cantidad de tiempo aceptable sobre el fluido de un proceso de llenado, en las pruebas se encontró ciertas diferencias de presión a lo largo de las tuberías que alimentan los tanques 2,3,4 en cual se adicionó como solución una llave que funcionaría como una válvula regulable de paso con el fin de que exista flujo sobre todos los tanques
- Las medidas del caudal sobre la etapa de llenado del tanque principal, se plantearon como la variación de energía sobre la bomba de agua monofásica, en la programación se estimó un cambio de porcentaje que haría que aumente en 5 pasos paulatinamente la succión de la bomba y con esto los cambios de caudal en cada paso, se puso a prueba el rendimiento de la bomba, se concluye que un variador industrial para bomba de agua puede ser construido con un recortador de señal y un microcontrolador , que entre las medidas de caudal

entre el flujometro y el cálculos obtenidos por el sensor ultrasónico existe una mínima cantidad de margen de error 0.1.

- Sobre el ámbito de control automático se expresa que a pesar de no existir un proceso de lazo cerrado con un set point, se utiliza una lógica de sistema digital para comparar y detener el proceso de llenado, es decir un sistema automático en función de lógica comparativa y que se concluye con un sistema planteado para control on-off de lazo abierto.
- Con la aplicación de adquisición de datos realizada con la tarjeta arduino y la tarjeta FPGA en este módulo podemos comparar el rendimiento de ambas tarjetas en base a la programación y proceso de obtención y presentación de datos , podemos concluir que la tarjeta arduino es más sencilla de manipular y el código de programación versátil y con suficiente información para realizar cambios inmediatos en comparación con la tarjeta FPGA que su programación es modular y actualizada en un entorno de diseño para ingeniería, los códigos de programación existe menos información pero con un rendimiento mucho mejor que la tarjeta arduino, la presentación de datos es mucho más estable con la FPGA
- Al implementar este sistema de módulo de control aplicando tecnología FPGA para el análisis del proceso de mezcla de potabilización de agua , nivel de PH y control de flujo se establece una solución a la problemática para realizar prácticas de laboratorio en la universidad sobre aplicación de teorías como sistemas digitales , microcontroladores y de control

## RECOMENDACIONES

- Antes de realizar algún tipo de programación sobre el módulo implementado es necesario informarse las especificaciones de los datasheet para utilizar correctamente los puertos para no dañar ningún dispositivo.
- Al utilizar el motor monofásico es necesario que se instale un breaker de protección, ya que se está usando un voltaje de 110 y este se accionará en el caso que exista una sobrecarga.
- Para utilizar los sensores es necesario verificar los pines de datos de cada uno de los sensores para así correctamente conectarlos al bloque de control y así se cumpla la secuencia lógica del proceso.
- Se recomienda para aplicaciones futuras que sobre el módulo se apliquen sensores y actuadores de uso industrial.
- Se debe tener cuidado con los diferentes tipos de voltaje porque se podrían dañar todos los elementos y dispositivos.
- Verificar el accionamiento de cada una de las válvulas, ya que pueden causar algún daño sobre la bomba.
- En cuanto a módulos para guía de laboratorios de electrónica se recomienda seguir incentivando a los estudiantes con nuevos diseños para prácticas de control automáticos, puesto que las tecnologías como las FPGAs, tienen un amplio campo de aplicación en muchas de las materias impartidas en la Carrera de ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. L. (2012). Montaje puesta en Marcha de sistemas robóticos y sistemas de Visión , en bienes de equipo y máquinas industriales. Malaga: ic editorial.
- Areny, R. P. (2005). aDQUISICION Y DISTRIBUCION DE SEÑALES. MEXICO: S.A MARCOMBO.
- Artero, O. T. (2013). Arduino ;Curso practico de formacion. España: Rc Libros.
- Benitez, R. (5 de Junio de 2012). BotScience. Obtenido de <https://botscience.wordpress.com/2012/06/05/historia-de-arduino-y-su-nacimiento/>.
- Creus, A. (2011). Instrumentacion Industrial. Mexico: marcombo.
- ENRIQUE HARPER, G. (2010). EL ABC DE LA INSTRUMENTACION EN EL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES. Mexico: LIMUSA S.A .
- Enrique Ramos Melgar and Ciriaco Castro Diez, W. P. (2012). Technology in action, Arduino and Kinect projects , Design, build, blow their minds. New York: tia.
- FESTO. (s.f.). Obtenido de FESTO: [www.festo.com](http://www.festo.com)
- Gea, J. M. (1998). Circuitos basicos de ciclos neumáticos y electroneumáticos. Barcelona(España): marcombo.
- Herrera, J. L. (2011). Programacion en tiempo real y base de datos :un enfoque practico(UPCGrau) . Catalunya: Digital Politecnica.
- IDETEC. (2015). IDETEC. Obtenido de [www.ideastechnology.com/?q=node/214](http://www.ideastechnology.com/?q=node/214)
- Instruments, N. (s.f.). Obtenido de National Instruments: [www.ni.com/fpga/esa/](http://www.ni.com/fpga/esa/)
- Instruments, N. (21 de Diciembre de 2011). National Instruments. Obtenido de <http://www.ni.com/white-paper/6984/es/#toc1>
- Intruments, N. (s.f.). Obtenido de [http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/imc/lang/es/pg/1/sn/n17:imc,n19:FPGA\\_target/fmid/2170/](http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/imc/lang/es/pg/1/sn/n17:imc,n19:FPGA_target/fmid/2170/)
- L.Mott, R. (2006). Mecanica de Fluidos. Mexico: Pearson Educacion.

- Maraña, J. C. (2005). Instrumentación Y control de procesos. Mexico: idom.
- Moreno, M. (s.f.). Controlador logico programable PLC. Buenos Aires Argentina: Micro.
- Neal S. Widmer, G. L. (2007). Sistemas Digitales principios y aplicaciones. New Jersey: Pearson.
- Ogata, K. (2010). Ingenieria de control moderna. Madrid: Pearson Educacion.
- Oiéguez, J. L. (3 de Marzo de 2015). Granabot. Obtenido de [granabot.es/robot-recorre-tuberias-circuito-y-funcionamiento-sensores](http://granabot.es/robot-recorre-tuberias-circuito-y-funcionamiento-sensores)
- Rasberry. (s.f.). Obtenido de [www.rasberry.pi.org](http://www.rasberry.pi.org)
- readable. (2015). readable. Obtenido de [es.allreable.com/7ef9bDXIn](http://es.allreable.com/7ef9bDXIn)
- Sánchez, J. A. (2006). Instrumentacion y control avanzados de procesos. España: Edigrafos s.a.
- Vadillo, D. M. (2014). 4. Montaje y reparación de sistemas eléctricos y electrónicos de viene de equipos y maquinarias industriales. Ic Editorial.

**ANEXO 3**

**ENCUESTA**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD DE SISTEMAS Y TELECOMUNICACIONES**



**CARRERA DE ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**



**”MÓDULO DE CONTROL APLICANDO TECNOLOGÍA  
FPGA PARA EL ANÁLISIS DEL PROCESO DE MEZCLA DE  
POTABILIZACIÓN DEL AGUA, NIVEL DE PH Y CONTROL DE FLUJO”**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO(a) en  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES.**

**Instrucciones**

- Por favor lea detenidamente la pregunta y marque con una X la respuesta correcta

**Preguntas**

1. ¿Le interesaría conocer acerca de los módulos didácticos orientado a prácticas de laboratorio para el control automático?

SI

NO

2. ¿Cree usted que un laboratorio de control automático aportará en un alto porcentaje a adquirir nuevos conocimientos en los estudiantes de la escuela y desarrollar habilidades como el buen desenvolvimiento en el campo industrial y profesional?

SI

NO

3. Al utilizar un módulo didáctico de simulación automática. ¿Cree usted que este le permitirá afianzar sus conocimientos sobre control y automatismo?

SI  NO

4. ¿Cree usted que la implementación de un módulo de simulación de control automático represente una herramienta para realizar prácticas de laboratorio relacionado al automatismo y control?

SI  NO

5. ¿Cree usted que la Implementación de un módulo didáctico de simulación sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua con tecnología **FPGA** y **ARDUINO** mejorara la enseñanza-aprendizaje en los estudiantes?

SI  NO

6. ¿Cree usted que la implementación de un módulo didáctico para el control de flujo y monitoreo de nivel de líquidos sea necesario en aplicaciones de prácticas de laboratorio como elementos para instrumentación y de adquisición de datos?

SI  NO

7. ¿Cree usted que la lógica de la simulación industrial de control con circuitos reprogramables fortalecerá el aprendizaje del sistema de control en las líneas de automatización?

SI  NO

8. ¿Cree usted que un módulo didáctico de simulación industrial sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua sea útil y sencillo de manipular?

SI  NO

9. La verificación real sobre el funcionamiento y visualización de señales de entrada y salida de un sistema de control las considera importante para conocer sobre un proceso industrial automatizado

SI  NO

10. ¿Cree usted que los sistemas de módulos didácticos para el control y automatización de procesos son útiles para afianzar los conocimientos sobre teoría de control y lógica de programación?

SI  NO

### TABULACIÓN

1. ¿Le interesaría conocer acerca de los módulos didácticos orientado a prácticas de laboratorio para el control automático?

**Objetivo.-** Con esta pregunta determinar a cuantas personas le interesaría conocer acerca de los módulos didácticos orientado a prácticas de laboratorio para el control automático

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	8	100%
No	0	0%
Total	8	

Tabla 1: Resultado encuesta P1: Autor

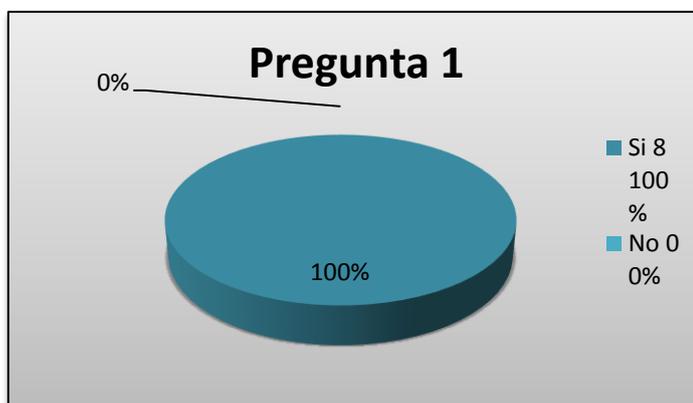


Gráfico 4. Diagrama pastel P1: Autor

**Análisis:**

El 100% de las personas encuestadas respondieron que les interesaría conocer acerca de los módulos didácticos orientado a prácticas de laboratorio para el control automático.

**Interpretación:**

Esto refleja la necesidad tener módulos didácticos orientados para prácticas de laboratorio ya que son indispensables para poner en práctica los conocimientos adquiridos.

2. ¿Cree usted que un laboratorio de control automático aportará en un alto porcentaje a adquirir nuevos conocimientos en los estudiantes de la escuela y desarrollar habilidades como el buen desenvolvimiento en el campo industrial y profesional?

**Objetivo.-** Determinar si un laboratorio de control automático aportara para adquirir nuevos conocimientos y así desarrollar habilidades como el buen desenvolvimiento en el campo industrial y profesional en los estudiantes de la escuela.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	8	100%
No	0	0%
Total	8	

Tabla 2: Resultado encuesta P2: Autor

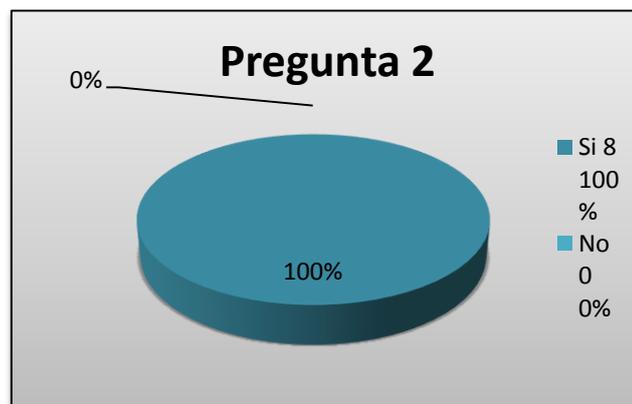


Gráfico 5. Diagrama pastel P1: Fuente: Autor

**Análisis:**

El 100% de las personas encuestadas respondieron que un laboratorio de control automático aportará en un alto porcentaje a adquirir nuevos conocimientos en los estudiantes de la escuela y desarrollar habilidades como el buen desenvolvimiento en el campo industrial y profesional.

**Interpretación:**

Se concluye que un laboratorio de control automático es indispensable para impartir clases microcontroladores, sensores, con las herramientas adecuadas podremos adquirir conocimientos prácticos para poder desenvolvernos en el campo industrial

3. Al utilizar un módulo didáctico de simulación automática. ¿Cree usted que este le permitirá afianzar sus conocimientos sobre control y automatismo?

**Objetivo.-** Determinar si un módulo didáctico de simulación automática va a permitir afianzar conocimientos sobre control y automatismo.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	8	100%
No	0	0%
Total	8	

Tabla 3: Resultado encuesta P3: Autor



Gráfico 6. Diagrama pastel P3: Autor

**Análisis:**

El 100 % de las personas encuestadas respondieron que es necesario utilizar un módulo didáctico de simulación automática para afianzar sus conocimientos sobre control y automatismo.

**Interpretación:**

Se concluye que a los estudiantes les interesa utilizar módulos didácticos de simulación automática para afianzar conocimientos en el área de instrumentación.

4. ¿Cree usted que la implementación de un módulo de simulación de control automático represente una herramienta para realizar prácticas de laboratorio relacionado al automatismo y control?

**Objetivo.-** Determinar si la implementación de un módulo de simulación de control automático, representa una herramienta para realizar prácticas de laboratorio relacionadas al automatismo y control.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	88%
No	1	13%
Total	8	

Tabla 4: Resultado encuesta: Autor

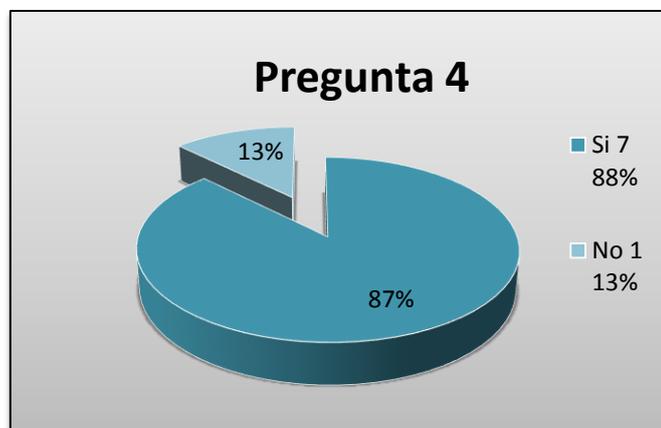


Gráfico 7. Diagrama pastel P4: Autor.

**Análisis:**

El 87 % de las personas menciona que la implementación de un módulo de simulación de control automático representa una herramienta para realizar prácticas de laboratorio relacionado al automatismo y control y un 13% no.

**Interpretación:**

Se considera que la implementación de un módulo de simulación de control automático, representa una herramienta para proporcionar conocimiento a los estudiantes y así dirigirlos a desarrollar conocimientos de automatismo y control.

5. ¿Cree usted que la Implementación de un módulo didáctico de simulación sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua con tecnología **FPGA** y **ARDUINO** mejorará la enseñanza-aprendizaje en los estudiantes?

**Objetivo.-** Determinar si de un módulo didáctico de simulación sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua con tecnología **FPGA** y **ARDUINO** mejorará la enseñanza-aprendizaje en los estudiantes

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	8	100%
No	0	0%
Total	8	

Tabla 5: Resultado encuesta P5: Autores



Gráfico 8. Diagrama pastel P5.: Autor

**Análisis:**

El 100 % de las personas encuestadas respondieron que un módulo didáctico de simulación sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua con tecnología **FPGA** y **ARDUINO** mejorará la enseñanza-aprendizaje en los estudiantes

**Interpretación:**

Se concluye que las tecnologías **FPGA** y **ARDUINO**, son microcontroladores importantes para los estudiantes y el uso de este hardware y software por que ayuda a obtener conocimientos de lenguaje de programación.

6. ¿Cree usted que la implementación de un módulo didáctico para el control de flujo y monitoreo de nivel de líquidos sea necesario en aplicaciones de prácticas de laboratorio como elementos para instrumentación y de adquisición de datos?

**Objetivo.-** Determinar si un módulo didáctico para el control de flujo y monitoreo de nivel de líquidos es necesario en aplicaciones de prácticas de laboratorio como elementos para instrumentación y de adquisición de datos.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	8	100%
No	0	0%
Total	8	

Tabla 6: Resultado encuesta P6.: Autor.



Gráfico 9. Diagrama pastel P6.: Autor.

**Análisis:**

El 100 % de las personas encuestadas respondieron que un módulo didáctico para el control de flujo y monitoreo de nivel de líquidos es necesario en aplicaciones de prácticas de laboratorio como elementos para instrumentación y de adquisición de datos.

**Interpretación:**

Por tanto se considera importante el uso de módulos didácticos para obtener el monitoreo y control de procesos, a la vez necesarios porque puedo manipular datos y elementos para instrumentación y de adquisición de información útiles en prácticas de laboratorio.

7. ¿Cree usted que la lógica de la simulación industrial de control con circuitos reprogramables fortalecerá el aprendizaje del sistema de control en las líneas de automatización?

**Objetivo.-** Determinar si la lógica de la simulación industrial de control con circuitos reprogramables fortalecerá el aprendizaje del sistema de control en las líneas de automatización

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	8	100%
No	0	0%
Total	8	

Tabla 7: Resultado encuesta P7: Autor



Gráfico 10. Diagrama pastel P7: Autor.

**Análisis:**

El 100 % de las personas encuestadas respondieron que la lógica de la simulación industrial de control con circuitos reprogramables fortalecerá el aprendizaje del sistema de control en las líneas de automatización.

**Interpretación:**

Se demuestra que este es un gran aporte para la innovación industrial en líneas de automatización

8. ¿Cree usted que un módulo didáctico de simulación industrial sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua sea útil y sencillo de manipular?

**Objetivo.-** Determinar si un módulo didáctico de simulación industrial sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua sea útil y sencillo de manipular.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	3	38%
No	5	63%
Total	8	

Tabla 8: Resultado encuesta P8. Fuente: Autor

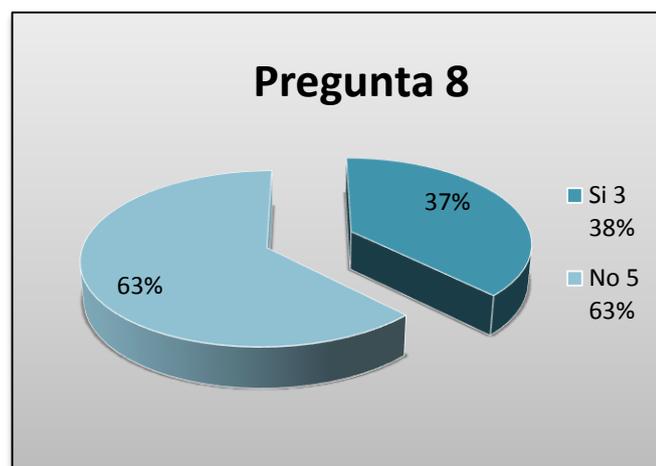


Gráfico 11. Diagrama pastel P8.: Autor.

**Análisis:**

El 63 % de los encuestados no considera que un módulo didáctico de simulación industrial sobre el proceso de mezcla de potabilización del agua sea útil y sencillo de manipular y un 37 % si lo considera.

**Interpretación:**

Se hace necesaria la implementación del módulo didáctico de simulación para que estudiantes tengan la facilidad para realizar prácticas y le resulte sencillo.

- La verificación real sobre el funcionamiento y visualización de señales de entrada y salida de un sistema de control las considera importante para conocer sobre un proceso industrial automatizado.

**Objetivo.-** Determinar la verificación real sobre el funcionamiento y visualización de señales de entrada y salida de un sistema de control considerándolo importante para conocer sobre un proceso industrial automatizado.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	7	88%
No	1	13%
Total	8	

Tabla 9: Resultado encuesta P9 - Fuente: Autor

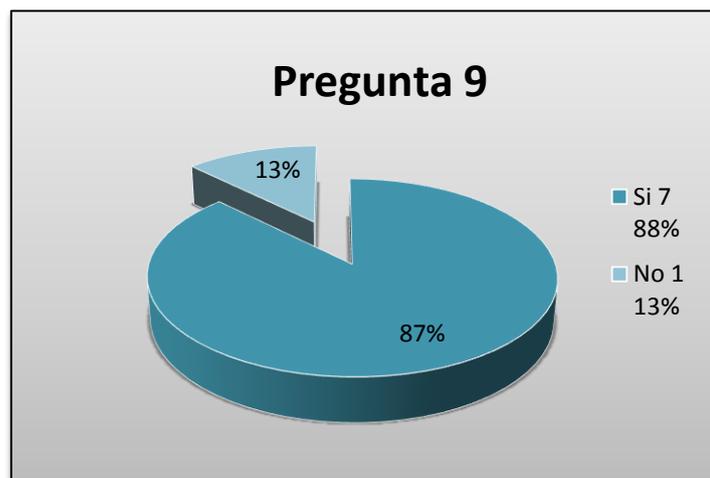


Gráfico 12. Diagrama pastel P9: Fuente: Autor

**Análisis:**

El 88 % de los encuestados dice que la visualización de señales de entrada y salida de un sistema de control las considera importante para conocer sobre un proceso industrial automatizado y un 13 % no .

**Interpretación:**

Se determina que si es necesario conocer acerca de procesos automatizados para el desarrollos en sistemas industriales.

10. ¿Cree usted que los sistemas de módulos didácticos para el control y automatización de procesos son útiles para afianzar los conocimientos sobre teoría de control y lógica de programación?

**Objetivo.-** Determinar si los sistemas de módulos didácticos para el control y automatización de procesos son útiles para afianzar los conocimientos sobre teoría de control y lógica de programación.

Alternativa	Frecuencia	Porcentaje
Si	6	75%
No	2	25%
Total	8	

Tabla 10: Resultado encuesta P10. - Fuente: Autor

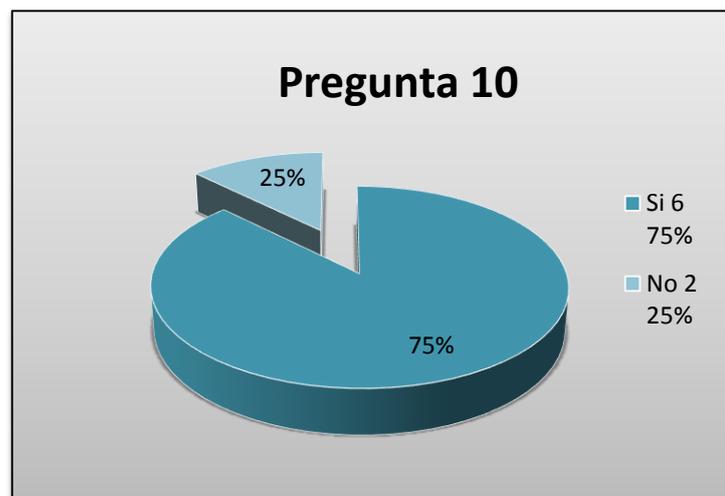


Gráfico 12. Diagrama pastel P10 Fuente: Autor

**Análisis:**

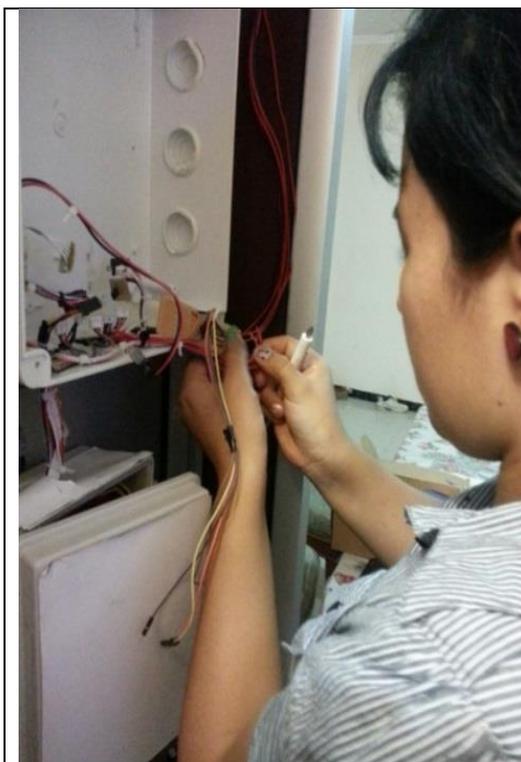
El 75% de los encuestados consideran que los sistemas de módulos didácticos para el control y automatización de procesos son útiles para afianzar los conocimientos sobre teoría de control y lógica de programación y un 25 % no.

**Interpretación:**

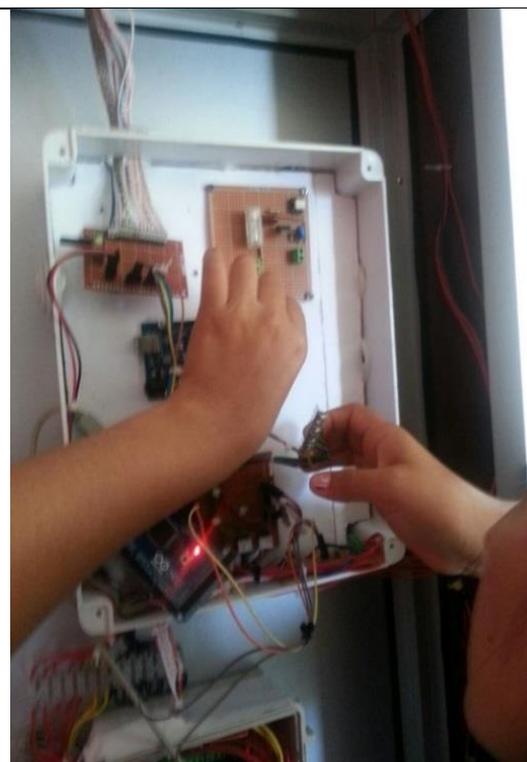
Esta tecnología es indispensable para los estudiantes y así poder afianzar conocimientos adquiridos en un aula de clases.

**ANEXO 4**

**IMÁGENES DEL MÓDULO**



Conexión de acoples



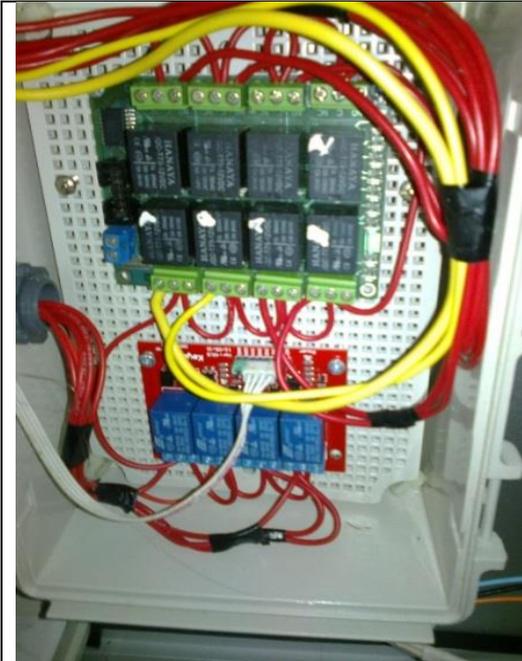
Interconexión con las tarjetas



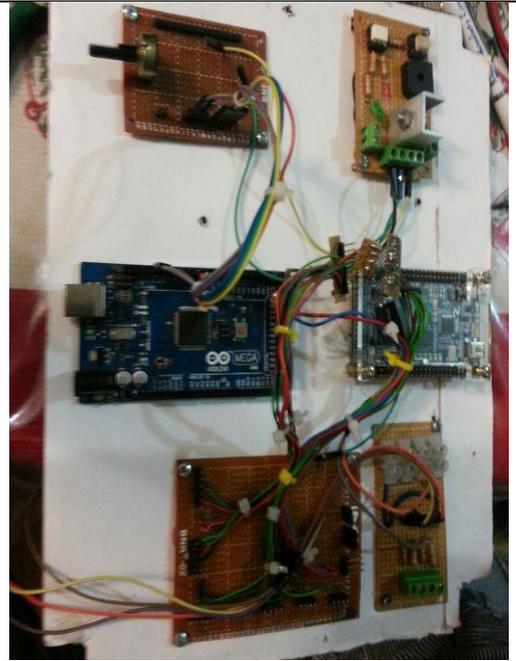
Dispositivos en el modulo



Conexión de dispositivos



Conexión a las tarjetas de relé



Conexión a las tarjetas



Módulo implementado



Interconexión de tuberías

## ANEXO 5

### PROGRAMACIÓN DE CONTROL DE FLUJO

```
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Ultrasonic.h>
#include <TimerOne.h>

Ultrasonic ultrasonic1(33,31); // (Trig
PIN,Echo PIN) tanque1 leo tanque 1

Ultrasonic ultrasonic2(37,35); // (Trig
PIN,Echo PIN)

Ultrasonic ultrasonic3(41,39); // (Trig
PIN,Echo PIN)

Ultrasonic ultrasonic4(45,43); // (Trig
PIN,Echo PIN)

Ultrasonic ultrasonic5(49,47); // (Trig
PIN,Echo PIN)

LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 6, 5, 4);

char leer;

int
s2,s3,ultra1,ultra2,ultra3,ultra4,ultra5,salir;

int sobreph;

String stringOne,stringTwo,stringThree;

//*****flujom
etro*****

// which pin to use for reading the sensor?
can use any pin!

#define FLOWSENSORPIN 2

// count how many pulses!

volatile uint16_t pulses = 0;

// track the state of the pulse pin

volatile uint8_t lastflowpinstate;

// you can try to keep time of how long it is
between pulses

volatile uint32_t lastflowratetimer = 0;
// and use that to calculate a flow rate

volatile float flowrate;

// Interrupt is called once a millisecond,
looks for any pulses from the sensor!

SIGNAL(TIMER0_COMPA_vect) {

    uint8_t x =
digitalRead(FLOWSENSORPIN);

    if (x == lastflowpinstate) {

        lastflowratetimer++;

        return; // nothing changed!

    }

    if (x == HIGH) {

        //low to high transition!

        pulses++;

    }

    lastflowpinstate = x;

    flowrate = 1000.0;

    flowrate /= lastflowratetimer; // in hertz

    lastflowratetimer = 0;

}

void useInterrupt(boolean v) {

    if (v) {

        // Timer0 is already used for millis() -
we'll just interrupt somewhere

        // in the middle and call the "Compare A"
function above

    }

}
```

```

OCR0A = 0xAF;

TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);

} else {

    // do not call the interrupt function
    COMP_A0 = 0;

    TIMSK0 &= ~_BV(OCIE0A);

}

}

//*****
dimmer*****
*

volatile int i=0; // Variable que se utiliza
como un contador

volatile boolean zero_cross=0; // Boleano
para almacenar un "interruptor" para
decirnos si hemos cruzado cero

int AC_pin = 32; // Salida a Optoacoplador

int dim = 0; // Nivel de regulación (0-128) 0
= encendido, 128 = Apagado

int inc=1; // contador 1 = arriba, -1 = abajo

int freqStep = 60;

void setup()

{

Serial.begin(9600); //Inicia comunicación
serial

    pinMode(FLOWSENSORPIN, INPUT);

    digitalWrite(FLOWSENSORPIN, HIGH);

    lastflowpinstate =
digitalRead(FLOWSENSORPIN);

    useInterrupt(true);

pinMode(42, OUTPUT); //luz x x x x o
pinMode(48, OUTPUT); //luz x x x

pinMode(AC_pin, OUTPUT); // Ajuste el
pin como salida Triac

attachInterrupt(1, zero_cross_detect,
RISING); // Adjuntar al Pin 2 (interruptor 0)
para la detección de la Cruz Cero

```

```

Timer1.initialize(freqStep); // Inicializamos
la biblioteca de TimerOne para el frecuencia
que necesitamos

Timer1.attachInterrupt(dim_check,
freqStep); // Utilice la Biblioteca TimerOne
adjuntar una interrupción a la función que

//Para comprobar para ver si es el momento
adecuado para disparar el triac.

//Esta función ahora se ejecute cada freqStep
en microsegundos.

}

void zero_cross_detect()

{

zero_cross = true; // establecer true para
contar nuestra función de atenuación que un
cruce por cero se ha producido

i=0;

digitalWrite(AC_pin, LOW); // apagar
TRIAC (AC)

}

// Encienda el TRIAC en el momento
adecuado

void dim_check() {

if(zero_cross == true) {

if(i>=dim) {

digitalWrite(AC_pin, HIGH); // enciend el
foco

i=0; // resetear el contador

zero_cross = false; //resetea a cero cross
detection

}

else {

i++;

}

}

}

void loop() {

```

```

//dim=0;

dim=85;

if((dim>=128) || (dim<=0))

inc*=-1;

delay(18);

if (Serial.available())

{

//Guardar en una variable el valor de la
consola serial

leer=Serial.read();

}

if (leer=='o')

{

lcd.begin(16, 2);

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(" ");

stringOne = String("M");

stringThree = String();

ultra1 = ultrasonic1.Ranging(CM); // sensor
de abajo tanque 1

        ultra2 =
ultrasonic2.Ranging(CM); // sensor de
derecho tanque 2

        ultra3 =
ultrasonic3.Ranging(CM); // sensor de
medio tanque 3

        ultra4 =
ultrasonic4.Ranging(CM); // sensor de
izquierda tanque 4

        ultra5 =
ultrasonic5.Ranging(CM); // sensor de
izquierda donde se hace la mezcla (tanque 5)

delay(90);

        //Serial.print(ultra1); // CM or INC

stringThree = stringOne+' '+ultra5+'
'+ultra4+' '+ultra3+' '+ultra2+' '+ultra1;

lcd.setCursor(0,1);

lcd.println(stringThree);

Serial.print("Freq: ");
Serial.println(flowrate);

Serial.print("Pulses: "); Serial.println(pulses,
DEC);

float liters = pulses;

liters /= 7.5;

liters /= 60.0;

Serial.print(liters); Serial.println(" Liters");

lcd.setCursor(0, 0);

lcd.print(liters); lcd.print(" Liters    ");

delay(100);

if (ultra4>26)

{ digitalWrite(42,HIGH); //1 luz derecha
verde x x x x 0

digitalWrite(48,HIGH); // bomba 1

}

else

{

digitalWrite(48,LOW); //1 luz derecha
verde x x x x 0

digitalWrite(42,LOW); // bomba 1

}

Serial.println("on");

} (Rasberry, s.f.)

```

## PROGRAMACIÓN EN FPGA

```

CODIGO DEL LCD
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
entity ADC_LCD is
port(Clk : IN STD_LOGIC;
iGO : IN STD_LOGIC := '0';
oDIN : OUT STD_LOGIC;
oCS_n : OUT STD_LOGIC;
oSCLK : OUT STD_LOGIC;
iDOUT : IN STD_LOGIC;
iCH : IN STD_LOGIC_VECTOR(2 downto 0);
LCD_RS : OUT STD_LOGIC;
LCD_E : OUT STD_LOGIC;
LCD_DataOut : OUT
STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0));
endentity;
architectureADC_LCD_arc of ADC_LCD is
componentLCD_Disps
port( Clk : IN STD_LOGIC := '0';
LCD_RS : OUT STD_LOGIC;
LCD_E : OUT STD_LOGIC;
LCD_DataIn : IN STD_LOGIC_VECTOR(11
downto 0) := "000000000000";
WaveSel : IN STD_LOGIC_VECTOR(2
downto 0);
LCD_DataOut : OUT
STD_LOGIC_VECTOR(7CODIGO EN FPGA
DEL LCD
downto 0));
endcomponent;
componentADCModuleis
port ( Clk : IN STD_LOGIC;
iGO : IN STD_LOGIC := '0';
oDIN : OUT STD_LOGIC;
oCS_n : OUT STD_LOGIC;
oSCLK : OUT STD_LOGIC;
iDOUT : IN STD_LOGIC;
iCH : IN STD_LOGIC_VECTOR(2 downto 0);
OutCkt: OUT STD_LOGIC_VECTOR(11
downto 0));
endcomponent;
signalADC_Data : STD_LOGIC_VECTOR(11
downto 0);
begin
ADC1 :ADCModuleportmap(Clk, iGO, oDIN,
oCS_n, oSCLK, iDOUT, iCH, ADC_Data);
LCD1 :LCD_Dispportmap(Clk, LCD_RS,
LCD_E, ADC_Data, iCH, LCD_DataOut);
endarchitectureADC_LCD_arc;
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
entityLCD_Disps
port( Clk : IN STD_LOGIC := '0';
LCD_RS : OUT STD_LOGIC;
LCD_E : OUT STD_LOGIC;
LCD_DataIn : IN STD_LOGIC_VECTOR(11
downto 0) := "000000000000";
WaveSel : IN STD_LOGIC_VECTOR(2
downto 0);
LCD_DataOut : OUT
STD_LOGIC_VECTOR(7
downto 0));
endentity;
architectureLCD_Disps_arc of LCD_Disps
constant N : INTEGER := 21;

```

```

TypearrayDataisarray (0 to N) of
STD_LOGIC_VECTOR(7 downto 0);

signal Datas: arrayData;

signalTempVal : INTEGER;

signal TempVal_1 : INTEGER;

signal TempVal_2 : INTEGER;

signal TempVal_3 : INTEGER;

signal TempVal_4 : INTEGER;

begin

--Commands--

Datas(0) <= X"38";

Datas(1) <= X"0c";

Datas(2) <= X"06";

Datas(3) <= X"80";

--Datas--

Datas(4) <= x"44";

Datas(5) <= x"41";

Datas(6) <= x"54";

Datas(7) <= x"41";

Datas(8) <= x"3A";

Datas(9) <= x"20";

TempVal<= (3300 *
(to_integer(UNSIGNED(LCD_DataIn)))/4095;

TempVal_1 <= (TempVal) mod 10;

TempVal_2 <= (TempVal/10) mod 10;

TempVal_3 <= (TempVal/100) mod 10;

TempVal_4 <= (TempVal/1000);

with (TempVal_1) select

Datas(14) <= x"30" when 0,

x"31" when 1,

x"32" when 2,

x"33" when 3,

x"34" when 4,

x"35" when 5,

x"36" when 6,

x"37" when 7,

x"38" when 8,

x"39" when 9,

x"30" whenothers;

with (TempVal_2) select

Datas(13) <= x"30" when 0,

x"31" when 1,

x"32" when 2,

x"33" when 3,

x"34" when 4,

x"35" when 5,

x"36" when 6,

x"37" when 7,

x"38" when 8,

x"39" when 9,

x"30" whenothers;

with (TempVal_3) select

Datas(12) <= x"30" when 0,

x"31" when 1,

x"32" when 2,

x"33" when 3,

x"34" when 4,

x"35" when 5,

x"36" when 6,

x"37" when 7,

x"38" when 8,

x"39" when 9,

x"30" whenothers;

```

```

Datas(11) <= x"2E";
with (TempVal_4) select
Datas(10) <= x"30" when 0,
x"31" when 1,
x"32" when 2,
x"33" when 3,
x"34" when 4,
x"35" when 5,
x"36" when 6,
x"37" when 7,
x"38" when 8,
x"39" when 9,
x"30" when others;
Datas(15) <= x"20";
Datas(16) <= x"56";
Datas(17) <= X"C0"; --Move to Line 2--
Datas(18) <= x"41";
Datas(19) <= x"43";
Datas(20) <= x"48";
with (WaveSel) select
Datas(21) <= x"30" when "000", --0--
x"31" when "001", --1--
x"32" when "010", --2--
x"33" when "011", --3--
x"34" when "100", --4--
x"35" when "101", --5--
x"36" when "110", --6--
x"37" when "111", --7--
x"5B" when others;
LCD_proc: process(Clk)
variable i : integer := 0;
variable j : integer := 0;
variable k : integer := 0;
begin
if (Clk'event and Clk = '1') then
if(i <= 85000) then i := i + 1; LCD_E <= '1';
LCD_DataOut<= DataS(j)(7 downto 0);
elsif(i > 85000 and i < 160000) then i := i + 1;
lcd_e<= '0';
elsif(i = 160000) then j := j + 1; i := 0;
endif;
if(j < 4) then LCD_RS <= '0'; --
CommandSignal --
elsif (j >= 4 and j <= 16) then lcd_rs<= '1'; --
Data Signal --
elsif (j = 17) then lcd_rs<= '0'; --
CommandSignal --
elsif (j > 17 and j < 22) then lcd_rs<= '1'; -- Data
Signal --
endif;
if(j = 22) then j := 0; -- Repeat Data
DisplayRoutine --
endif;
endif;
endprocessLCD_proc;
endLCD_Dispatch;
-- for ADC128S002 Analog to Digital
ConverterfromAnalogDevices
library IEEE;
use IEEE.STD_LOGIC_1164.ALL;
use IEEE.NUMERIC_STD.ALL;
entity ADCModule is
port ( Clk : IN STD_LOGIC;
iGO : IN STD_LOGIC := '0';
oDIN : OUT STD_LOGIC;
oCS_n : OUT STD_LOGIC;

```

```

oSCLK : OUT STD_LOGIC;

iDOUT : IN STD_LOGIC;

iCH : IN STD_LOGIC_VECTOR(2 downto 0);

OutCkt: OUT STD_LOGIC_VECTOR(11
downto 0));

endentity;

architectureADCModule_arc of ADCModuleis

component SPICLK is -- PLL Module : To be
definedexternally

port( inclk0 : IN STD_LOGIC := '0'; --
MainClock = 50Mhz --

c0 : OUT STD_LOGIC ; -- 0 deg. phase w.r.t
mainclock (2 MHz) --

c1 : OUT STD_LOGIC ); -- 180 deg. phase w.r.t
mainclock (2MHz) --

endcomponent;

signalgo_en: STD_LOGIC;

signalcont, m_cont: INTEGER;

signaladc_data: STD_LOGIC_VECTOR(11
downto 0);

signaliCLK, iCLK_n: STD_LOGIC;

begin

--CLKPLL: SPICLK portmap (Clk, iCLK,
iCLK_n); -- Module requires a 2 MHz PLL --

oCS_n<= notgo_en;

withgo_enselect

oSCLK<= iCLKwhen '1',

'1' when '0',

'1' whenothers;

Start_ADC_proc: process(iGO)

begin

if (iGO = '1') thengo_en<= '1';

elsego_en<= '0';

endif;

```

```

endprocessStart_ADC_proc;

counter1_proc: process(iCLK, go_en)

begin

if(go_en = '0') thencont<= 0;

elsif (rising_edge(iCLK)) then

if (cont = 15) thencont<= 0;

elsecont<= cont + 1;

endif;

endif;

endprocess counter1_proc;

counter2_proc: process(iCLK_n)

begin

if(rising_edge(iCLK_n)) thenm_cont<= cont;

endif;

endprocess Counter2_proc;

channel_ADC_proc: process(iCLK_n, go_en)

begin

if(go_en = '0') thenoDIN<= '0';

elsif(rising_edge(iCLK_n)) then

if (cont = 1) thenoDIN<= iCH(2);

elsif (cont = 2) thenoDIN<= iCH(1);

elsif (cont = 3) thenoDIN<= iCH(0);

elseoDIN<= '0';

endif;

endif;

endprocesschannel_ADC_proc;

output_ADC_proc: process(iCLK, iCLK_n,
go_en)

begin

if(go_en = '0') thenadc_data<= "000000000000";

elsif(rising_edge(iCLK)) then

if (m_cont = 3) thenadc_data(11) <= iDOUT;

```

```

elseif (m_cont = 4) thenadc_data(10) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 5) thenadc_data(9) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 6) thenadc_data(8) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 7) thenadc_data(7) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 8) thenadc_data(6) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 9) thenadc_data(5) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 10) thenadc_data(4) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 11) thenadc_data(3) <= iDOUT;

elseif (m_cont = 12) thenadc_data(2) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 13) thenadc_data(1) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 14) thenadc_data(0) <= iDOUT;
elseif (m_cont = 1) thenOutCkt<= adc_data;
endif;
endif;
endprocessoutput_ADC_proc;
endADCModule_arc;

```

## PROGRAMACIÓN EN ARDUINO

```

/* The circuit:
* LCD RS pin to digital pin 12
* LCD Enable pin to digital pin 11
* LCD D4 pin to digital pin 5
* LCD D5 pin to digital pin 4
* LCD D6 pin to digital pin 3
* LCD D7 pin to digital pin 2
* LCD R/W pin to ground
* 10K resistor:
* ends to +5V and ground
* wiper to LCD VO pin (pin 3)

//*****
*****

//libreris para el Variador
#include <TimerOne.h> // inclui biblioteca
Timer1

#define triacApin 13 // Define que o Dimmer
será comandado pelo pin 4

//*****
*****

// initialize the library with the numbers of the
interface pins

```

tenemos bomba 1 y bomba 2 tenemos electrovalvula 1,2,3,4,5

tenemos sensor de flujo y sensor de distancias 1,2,3,4,5

presentacion en lcd y travez de terminal y pulsadores encendido y stop

indicadores de cada bomba y electrovalvula

LA Manipulacion de señal pwm para el variador no se ha realizado

```

*/// include the library code:
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Ultrasonic.h>

Ultrasonic ultrasonic1(33,31); // (Trig PIN,Echo PIN) tanque1 leo tanque 1
Ultrasonic ultrasonic2(37,35); // (Trig PIN,Echo PIN)
Ultrasonic ultrasonic3(41,39); // (Trig PIN,Echo PIN)
Ultrasonic ultrasonic4(45,43); // (Trig PIN,Echo PIN)
Ultrasonic ultrasonic5(49,47); // (Trig PIN,Echo PIN)

```

```

// *****pines de Datos
del LCD*****

LiquidCrystal lcd(12, 11, 7, 6, 5, 4);

char leer;

int s2,s3,ultra1,ultra2,ultra3,ultra4,ultra5,salir;

int sobreph;

String stringOne,stringTwo,stringThree;

//*****
*****

//Variables del Variador

int frecuencia = 60;

int stateTriacA = 0;

int power = 0; //inicializa variavel que controla
potencia na lampada com 0 (lampada apagada)

//*****
*****

#define FLOWSENSORPIN 51

// count how many pulses!

volatile uint16_t pulses = 0;

// track the state of the pulse pin

volatile uint8_t lastflowpinstate;

// you can try to keep time of how long it is
between pulses

volatile uint32_t lastflowratetimer = 0;

// and use that to calculate a flow rate

volatile float flowrate;

const int BOTON1 = 8;

const int BOTON2 = 9;

const int BOTON3 = 10; /// revisar

//*****ESTADOS****
*****

int estado1 = 0;

int estado_anterior1 =0;

int led =0;

int estado2 = 0;

```

```

int estado_anterior2=0;

int estado3 = 0;

int estado_anterior3=0;

int ed;

void setup() {

//attachInterrupt(0,inversion,FALLING);

Serial.begin(9600); //Inicia comunicaci3n
serial

stringOne = String("M");

stringThree = String();

pinMode(BOTON1,INPUT);// BOTON

pinMode(BOTON2,INPUT);// BOTON

pinMode(BOTON3,INPUT);// BOTON

pinMode(13,OUTPUT); //bomba1

// pinMode(14, OUTPUT); //bomba2

pinMode(22, OUTPUT); //luz x x x x o

pinMode(24, OUTPUT); //luz x x x o x

pinMode(26, OUTPUT); //luz x o x x x

pinMode(28, OUTPUT); //luz x x o x x

pinMode(34, OUTPUT); //EV

pinMode(36, OUTPUT); //EV valvula 4 izq
abajo

pinMode(38, OUTPUT); //EV valvula 5
derecha

pinMode(40, OUTPUT); //EV valvula 1 tanque
4 que viene de la bomba de abajo

pinMode(42, OUTPUT); //EV

pinMode(44, OUTPUT); //EV valvula 3 tanque
de em medio

pinMode(46, OUTPUT); //luz o x x x x

pinMode(48,OUTPUT); //EV

lcd.begin(16, 2);

//*****Print a message to the LCD
*****

lcd.setCursor(0,0);

```

```

lcd.print("MODULO 2015");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("Leonela De La A");

delay (1000);

lcd.begin(16, 2);

//***** Print a message to the
LCD*****
*****

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print(" ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print(" ");

//*****
*****

Serial.print("Flow sensor test!");

lcd.begin(16, 2);

pinMode(FLOWSENSORPIN, INPUT);

digitalWrite(FLOWSENSORPIN, HIGH);

lastflowpinstate =
digitalRead(FLOWSENSORPIN);

useInterrupt(true);

//*****Variador*****
*****

pinMode(triacApin, OUTPUT);

digitalWrite(triacApin, LOW);

Serial.println("Controle de TRIAC.\r\nDigite o
Percentual de Brilho (duas casas) Ex.: 25");

// Initialize the interruption time Timer1

Timer1.initialize(); // Initialize TimerOne library
for the freq we need

// Attach the interrupt 0 to pin 2 for the detection
of zero crossing (Zero Cross Detection)

attachInterrupt(0, zero_cross_detect,
FALLING); // Attach an Interrupt to Pin 2
(Interrupt 0) for Zero Cross Detection

}

```

```

//*****
*****

void useInterrupt(boolean v) {

if (v) {

    // Timer0 is already used for millis() - we'll
just interrupt somewhere

    // in the middle and call the "Compare A"
function above

    OCR0A = 0xAF;

    TIMSK0 |= _BV(OCIE0A);

} else {

    // do not call the interrupt function COMPA
anymore

    TIMSK0 &= ~_BV(OCIE0A);

}

}

//*****
*****

SIGNAL(TIMER0_COMPA_vect) {

uint8_t x = digitalRead(FLOWSENSORPIN);

if (x == lastflowpinstate) {

lastflowratetimer++;

return; // nothing changed!

}

if (x == HIGH) {

    //low to high transition!

pulses++;

}

lastflowpinstate = x;

flowrate = 1000.0;

flowrate /= lastflowratetimer; // in hertz

lastflowratetimer = 0;

}

void clearLcd()

```

```

{
    estado2 = digitalRead(BOTON2);
    estado3 = digitalRead(BOTON3);
    if (estado3 == HIGH)
    {
        salir=1;
    }
    else
    {salir=0;
    }
    if ((estado1 == HIGH) &&
        (estado_anterior1==LOW))
    {
        led=1;
    }
    estado1 = estado_anterior1;
    if ((estado2 == HIGH) &&
        (estado_anterior2==LOW))
    {
        led=0;
    }
    // estado = estado_anterior;
    estado2 = estado_anterior2;
    if (led==1)
    {
        // set up
        the LCD's number of columns and rows:
        ultra1 = ultrasonic1.Ranging(CM); // sensor de
        abajo tanque 1
        ultra2 = ultrasonic2.Ranging(CM); //
        sensor de derecho tanque 2
        ultra3 = ultrasonic3.Ranging(CM); //
        sensor de medio tanque 3
        ultra4 = ultrasonic4.Ranging(CM); //
        sensor de izquierda tanque 4
    }
}

void detencion()
{
    // INICIALIZACION DE LAS BOMBAS
    APAGADAS Y ELECTROVALVULAS
    digitalWrite(13, LOW); //
    digitalWrite(22, LOW);
    digitalWrite(24, LOW);
    digitalWrite(26, LOW);
    digitalWrite(28, LOW);
    // digitalWrite(30, LOW);
    // digitalWrite(32, LOW);
    digitalWrite(34, LOW);
    digitalWrite(36, LOW);
    digitalWrite(38, LOW);
    digitalWrite(40, LOW);
    digitalWrite(42, LOW);
    digitalWrite(44, LOW);
    digitalWrite(46, LOW);
    digitalWrite(48, LOW);
    led=0;
    salir=0;
}

void loop()
{
    estado1 = digitalRead(BOTON1);

```

```

        ultra5 = ultrasonic5.Ranging(CM); //
sensor de izquierda donde se hace la mezcla
(tanque 5)

delay(90);

        //Serial.print(ultra1); // CM or INC

stringThree = stringOne+' '+ultra5+' '+ultra4+'
'+ultra3+' '+ultra2+' '+ultra1;

Serial.println(stringThree);

clearlcd();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("ENCENDIDO TOTAL");

//*****
//*****
//*****

//int sobreph= analogRead(A0);

// Serial.println(sobreph);

if (sobreph>20)

{

digitalWrite(13,HIGH);

}

else

{

digitalWrite(13,LOW);

}

if (Serial.available())

{

//Guardar en una variable el valor de la consola
serial

leer=Serial.read();

}

if (leer=='o')

{

//lcd.begin(16, 2);

// Print a message to the LCD.

clearlcd();

```

```

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("ENCENDIDO TOTAL");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.println(stringThree);

if (ultra4>29)

{ digitalWrite(22,HIGH); //1 luz derecha verde
x x x x 0

digitalWrite(42,HIGH); // bomba 1

digitalWrite(48,HIGH);

}

else

{

digitalWrite(22,LOW); //1 luz derecha verde
x x x x 0

digitalWrite(42,LOW); // bomba 1

digitalWrite(48,LOW);

}

Serial.println("on");

}

//*****
//*****
//*****

if (Serial.available())

{

//Guardar en una variable el valor de la consola
serial

leer=Serial.read();

}

if (leer=='p')

{

lcd.begin(16, 2);

// Print a message to the LCD.

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("llenado de 2,3,5");

```

```

lcd.setCursor(0,1);

lcd.println(stringThree);

if ( (ultra5<10) || (ultra3<10) || (ultra2<10) )
{
    //digitalWrite(42,LOW); //BOMBA
digitalWrite(24,LOW);
digitalWrite(42,LOW);
digitalWrite(38,LOW); //
}
else
{
    //digitalWrite(42,HIGH); //BOMBA
digitalWrite(24,HIGH);
digitalWrite(42,HIGH);
digitalWrite(38,HIGH); //
}
}

//*****
*****

//llenado del tanque 4 a partir deltanque 2
if (Serial.available())
{
    //Guardar en una variable el valor de la consola
    serial

    leer=Serial.read();

}

if (leer=='q')
{
    lcd.begin(16, 2);

    // Print a message to the LCD.

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("llenado T4 de T2");

    lcd.setCursor(0,1);

```

```

lcd.println(stringThree);

if ( ultra4 >22 )
{
    digitalWrite(40,HIGH);//electrovalvula
    digitalWrite(28,HIGH); //
}
else
{
    digitalWrite(40,LOW);//electrovalvula
    digitalWrite(28,LOW); //
}

//*****
*****

//llenado del tanque 4 a partir deltanque 3
if (Serial.available())
{
    //Guardar en una variable el valor de la consola
    serial

    leer=Serial.read();

}

if (leer=='r')
{
    lcd.begin(16, 2);

    // Print a message to the LCD.

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("llenado T4 de T3");

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.println(stringThree);

    if ( ultra4 >17 )
    {
        digitalWrite(34,HIGH);//electrovalvula
        digitalWrite(36,HIGH); //

```

```

    digitalWrite(26,HIGH); //BOMBA
}
else
{
digitalWrite(34,LOW);//electrovalvula
digitalWrite(36,LOW); //

    digitalWrite(26,LOW); // BOMBA
}
}
//*****
//*****

//llenado del tanque 4 a partir del tanque 5
if (Serial.available())
{
    //Guardar en una variable el valor de la consola
    serial
    leer=Serial.read();
}
if (leer=='s')
{
    lcd.begin(16, 2);

    // Print a message to the LCD.
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("llenado T4 de T5");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.println(stringThree);
    if ( ultra4 >10 )
    {
        digitalWrite(44,HIGH);//electrovalvula
        digitalWrite(46,HIGH); //
        digitalWrite(34,HIGH); //BOMBA
    }
else

```

```

{
digitalWrite(44,LOW);//electrovalvula
digitalWrite(46,LOW); //
digitalWrite(34,LOW); // BOMBA
}
}
//*****
//*****

if (Serial.available())
{
    //Guardar en una variable el valor de la consola
    serial

    leer=Serial.read();
}
if (leer=='c')
{
    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("medicion de flujo");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Pulses:"); lcd.print(pulses, DEC);
    lcd.print(" Hz:");
    lcd.print(flowrate);

    //lcd.print(flowrate);
    Serial.print("Freq: "); Serial.println(flowrate);
    Serial.print("Pulses: "); Serial.println(pulses,
    DEC);

    // if a plastic sensor use the following
    calculation

    // Sensor Frequency (Hz) = 7.5 * Q
    (Liters/min)

    // Liters = Q * time elapsed (seconds) / 60
    (seconds/minute)

```

```

// Liters = (Frequency (Pulses/second) / 7.5) *
time elapsed (seconds) / 60

// Liters = Pulses / (7.5 * 60)

float liters = pulses;

liters /= 7.5;

liters /= 60.0;

/* if a brass sensor use the following calculation

float liters = pulses;

liters /= 8.1;

liters -= 6;

liters /= 60.0;

*/

Serial.print(liters); Serial.println(" Liters");

lcd.setCursor(0, 1);

lcd.print(liters); lcd.print(" Liters    ");

delay(100);

//*****
//*****

//*****Proceso para
Variador*****
*

if (Serial.available())

{

//Guardar en una variable el valor de la consola
serial

leer=Serial.read();

}

if (leer=='d')

{

int i = 0;

int read_data[2];

while(i<2){

while(Serial.available()){

read_data[i] = Serial.read();

i++;

}

}

power =
Concatena_Numeros(read_data[0],read_data[1])
;

Serial.println(power);

}

//*****
//*****
*

if (Serial.available())

{

//Guardar en una variable el valor de la consola
serial

leer=Serial.read();

}

if ((leer=='t')||(salir==1))

{

detencion();

lcd.begin(16, 2);

// Print a message to the LCD.

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("DETENIDO");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("    ");

}

///// lcd.setCursor(0, 1);

//// print the number of seconds since reset:

///// lcd.print(millis()/1000);

//*****
//*****

if (Serial.available())

{

```

```

//Guardar en una variable el valor de la consola
serial

leer=Serial.read();

}

if (leer=='a')

{

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("medicion de ph");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("      ");

}

//*****
*****

//*****
*****

}

}

else

{

Serial.println("t");

leer=Serial.read();

lcd.setCursor(0,0);

lcd.print("reset  ");

lcd.setCursor(0,1);

lcd.print("      ");

}

}

////////////////////

void zero_cross_detect()

```

```

{

if(power > 0){

long dimtime =
int(map(power,0,100,8000,150)); // calcula o
tempo de delay para o disparo do TRIAC
7950,100

Timer1.attachInterrupt(gateTRIAC, dimtime);
//associa a funcao gateTRIAC com Interrupcao
do TIMER1

Timer1.start(); // inicia contagem TIMER1

}else{

digitalWrite(triacApin, LOW); // mantem gate
do TRIAC desativado.

Timer1.stop();

}

}

void gateTRIAC ()

{ // trata interrupcao do TIMER1 gerando pulso
no gate do TRIAC

digitalWrite(triacApin, HIGH); // dispara o
Triac

delayMicroseconds(5); // aguarda 5
microsegundos para garantir disparo do TRIAC

digitalWrite(triacApin, LOW); // desabilta
gate do TRIAC

Timer1.stop();

}

int Concatena_Numeros(int variavel1, int
variavel2)

{

int resultado;

resultado = ((variavel1-'0')*10)+(variavel2-'0');

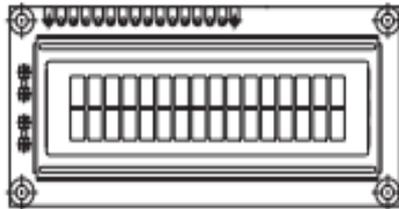
return resultado;

```

## ANEXO 6

### DATASHEET

#### 16 x 2 Character LCD



#### FEATURES

- 5 x 8 dots with cursor
- Built-in controller (KS 0066 or Equivalent)
- + 5V power supply (Also available for + 3V)
- 1/16 duty cycle
- BL to be driven by pin 1, pin 2 or pin 15, pin 16 or A.K (LED)
- N.V. optional for + 3V power supply

MECHANICAL DATA		
ITEM	STANDARD VALUE	UNIT
Module Dimension	80.0 x 36.0	mm
Viewing Area	66.0 x 16.0	mm
Dot Size	0.56 x 0.66	mm
Character Size	2.96 x 5.56	mm

ABSOLUTE MAXIMUM RATING					
ITEM	SYMBOL	STANDARD VALUE			UNIT
		MIN.	TYP.	MAX.	
Power Supply	VDD-VSS	- 0.3	-	7.0	V
Input Voltage	VI	- 0.3	-	VDD	V

NOTE: VSS = 0 Volt, VDD = 5.0 Volt

ELECTRICAL SPECIFICATIONS							
ITEM	SYMBOL	CONDITION	STANDARD VALUE			UNIT	
			MIN.	TYP.	MAX.		
Input Voltage	VDD	VDD = + 5V	4.7	5.0	5.3	V	
		VDD = + 3V	2.7	3.0	5.3	V	
Supply Current	IDD	VDD = 5V	-	1.2	3.0	mA	
Recommended LC Driving Voltage for Normal Temp. Version Module	VDD - V0	- 20 °C	-	-	-	V	
		0°C	4.2	4.8	5.1		
		25°C	3.8	4.2	4.6		
		50°C	3.6	4.0	4.4		
LED Forward Voltage	VF	25°C	-	4.2	4.6	V	
LED Forward Current	IF	25°C	Array	-	130	260	mA
			Edge	-	20	40	
EL Power Supply Current	IEL	Vel = 110VAC:400Hz	-	-	5.0	mA	

DISPLAY CHARACTER ADDRESS CODE:																
Display Position	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
DD RAM Address	00	01														0F
DD RAM Address	40	41														4F

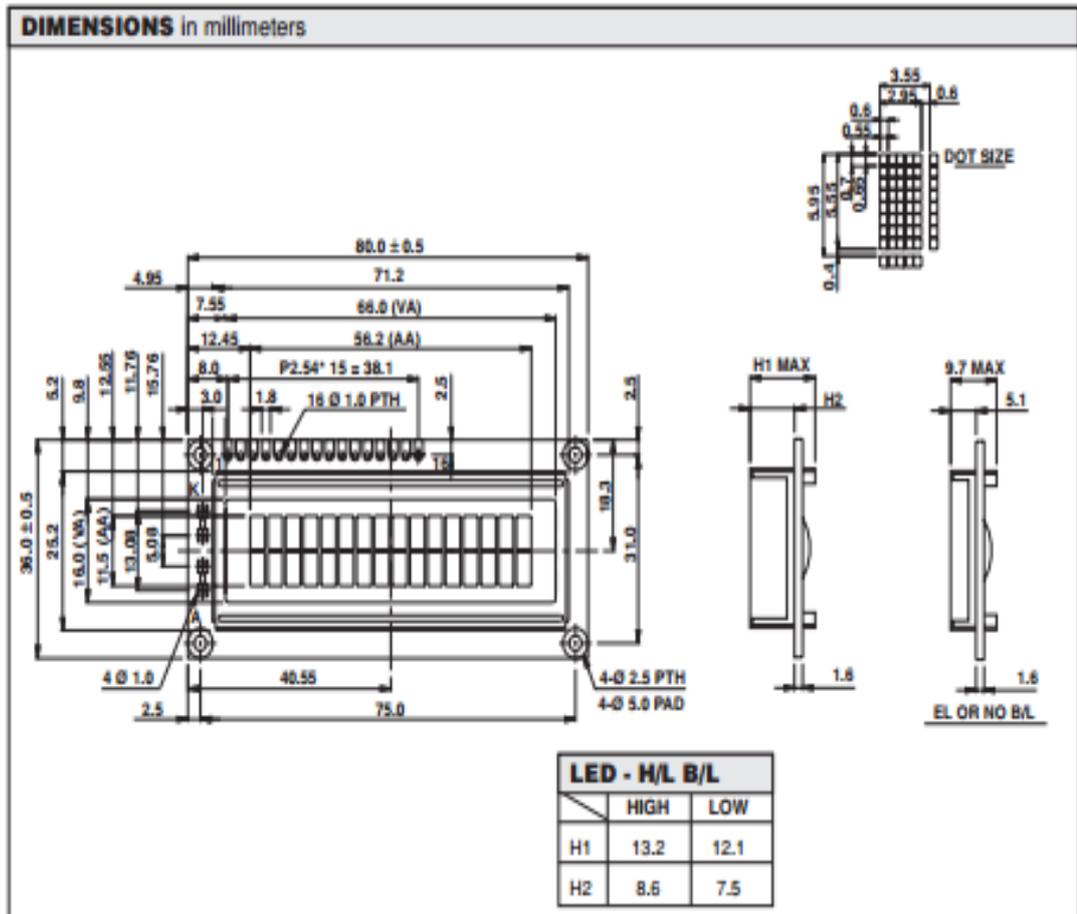
# LCD-016M002B

Vishay

16 x 2 Character LCD



PIN NUMBER	SYMBOL	FUNCTION
1	Vss	GND
2	Vdd	+ 3V or + 5V
3	Vo	Contrast Adjustment
4	RS	H/L Register Select Signal
5	R/W	H/L Read/Write Signal
6	E	H → L Enable Signal
7	DB0	H/L Data Bus Line
8	DB1	H/L Data Bus Line
9	DB2	H/L Data Bus Line
10	DB3	H/L Data Bus Line
11	DB4	H/L Data Bus Line
12	DB5	H/L Data Bus Line
13	DB6	H/L Data Bus Line
14	DB7	H/L Data Bus Line
15	A/Vee	+ 4.2V for LED/Negative Voltage Output
16	K	Power Supply for B/L (OV)



## BOMBA PERIFÉRICA, BOMBA DE AGUA DEL VÓRTICE, BOMBA DE LA SERIE DE QB,

### Límites del funcionamiento

Max.Suction: los 8m

Max.Medium temperature+40°C

Max.Ambient temperature+40°C

Max.Pressure: barra 6

Límites del material y de funcionamiento

Cuerpo de bomba: Arrabio

Compartimento del motor: Aluminio

Impulsor: Latón

Alambre del motor: Cobre

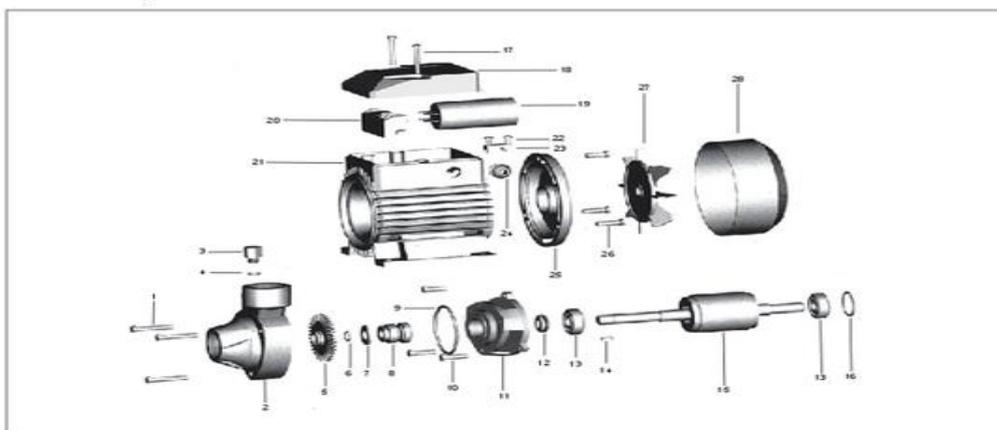
Portada: Aluminio

Sello mecánico:

Eje: acero inoxidable 45#steel/

Clase del aislante: F

Clase de la protección: IP44



N.	DESCRIPTION	N.	DESCRIPTION	N.	DESCRIPTION
1	Bolt	11	Pump support	21	Casing with wound staor
2	Pump casing	12	Drops guard	22	Screw
3	Charge plug	13	Bearing	23	Cable presser
4	"O" ring	14	Key	24	Fairlead
5	Impeller	15	Rotor	25	Driving cap
6	Snap ring	16	"O" ring	26	Bolt
7	Washer	17	Bolt	27	Fan
8	Mechanical seal	18	Terminal cover	28	Fan cover
9	"O" ring	19	Capacitor		
10	Bolt	20	Terminalboard		

Modelo	Potencia		Q.Max [l/min]	H.Max [m]	S.MAX [m]	Entrada/enchufe [pulgada]	Vol./Fre. [V/Hz]	G.W. [kilogramo]	Dimensión del embalaje		20GP [PC]
	[Kilovatio]	[HP]							[milimetro]	[PC/ctn]	
QB60	0.37	0.5	35	32	9	1 " x1 "	220/50	5.5	440×290×340	6	3870
QB70	0.55	0.75	45	48	9	1 " x1 "	220/50	8.8	345×185×205	4	2140
QB80	0.75	1	45	53	9	1 " x1 "	220/50	9	345×185×205	4	2140

## CARACTERÍSTICAS.

### Fuente de Alimentación .

- Alimentación de 5 y 12 VDC.

### Señales de Control

- 5V:Señal de alimentación para bloque de control.
- 12V:Señal de alimentación para relé.
- RL1,RL2,RL3,RL4,RL5,RL6,RL7,RL8:Señales disparadores de rele (5V rele activo)-0V(rele desactivado).

### Salidas.

- **NO**:Cuando el relé esta en estado abierto.
- **NC**:Pin común para la refrencia en la conmutacion del relé.
- **C**:Pin común para le referencia en la comunicacion del relé.
- La carga en la salida puede ser con los siguientes parametros :  
110 V/10A; 28V/10; 24V/15A; 240V/7A.



# HC-SR04 Ultrasonic Range Finder Manual

## Features

- > Distance measurement range: 2cm - 400cm
- > Accuracy: 0.3cm
- > Detect angle: 15 degree
- > Single +5V DC operation
- > Current consumption: 15mA



Fig. 1

## How It Works

HC-SR04 consists of ultrasonic transmitter, receiver, and control circuits. When triggered it sends out a series of 40KHz ultrasonic pulses and receives echo from an object. The distance between the unit and the object is calculated by measuring the traveling time of sound and output it as the width of a TTL pulse.

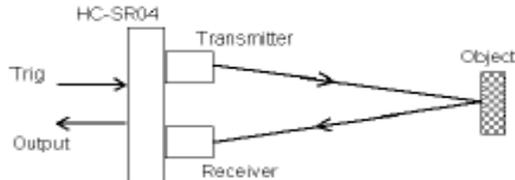


Fig. 2

## How To Use It

To measure distance you need to generate a trig signal and drive it to the Trig Input pin. The trig signal level must meet TTL level requirements (i.e. High level > 2.4V, low level < 0.8V) and its width must be greater than 10us. At the same time you need to monitor the Output pin by measuring the pulse width of output signal. The detected distance can be calculated by the formula below.

$$\text{Distance} = \frac{\text{Pulse Width} * \text{Sound Speed}}{2}$$

where the pulse width is in unit of second and sound speed is in unit of meter/second. Normally sound speed is 340m/s under room temperature.

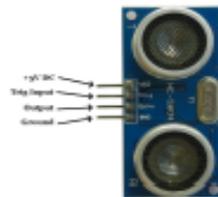


Fig. 3

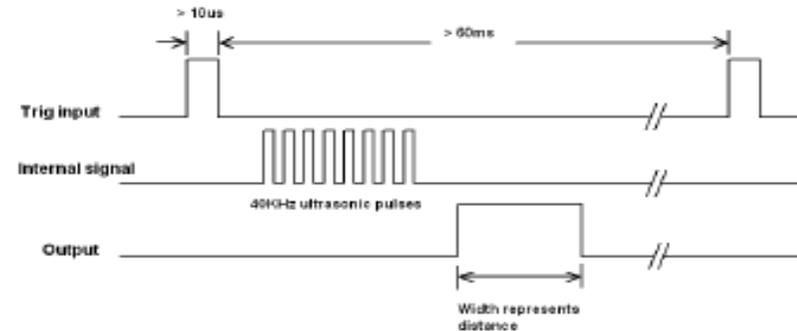


Fig. 4

- Notes:
1. The width of trig signal must be greater than 10us
  2. The repeat interval of trig signal should be greater than 60ms to avoid interference between consecutive measurements.

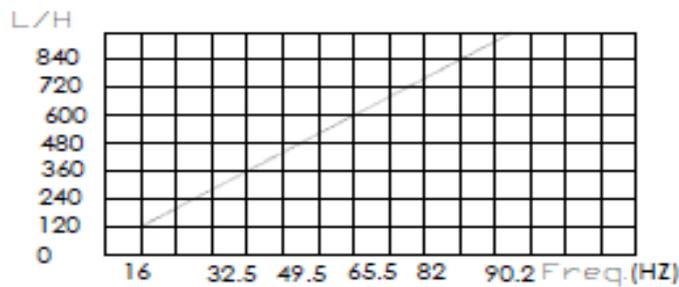
## Specifications

Parameters	Specification
Operating Voltage	+5V DC
Operating Current	15mA
Operating Frequency	40KHz
Maximum Distance	400cm
Minimum Distance	2cm
Detect Angle	15 degree
Resolution	0.3cm
Input Trig Signal	>10us TTL pulse
Output Signal	TTL pulse with width representing distance
Weight	
Dimension	45 x 20 x 15 mm

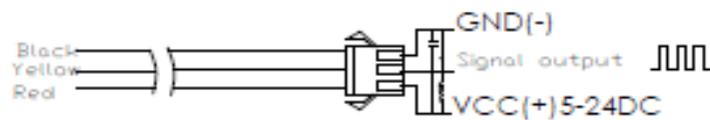
Flow-Pulse	Flow-Curve	Connection method
------------	------------	-------------------

→.Flow Range:100L/H-/1800H-L/H

Flow (L/H)	Frezq.(HZ)	Erra range
120L/H	16	±10
240L/H	32.5	
360L/H	49.3	
480L/H	65.5	
600L/H	82	
720L/H	90.2	

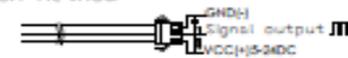


Connection method:



## YIFA the plastics Ltd Prodcut Introduction

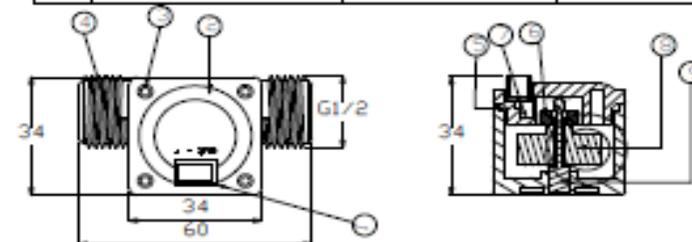
- 1.Modle:YF-21
- 2.Product Name:Hall sensor
- 3.Flow Range: 1-30L/MIN
- 4.(1)Connection Method



- (2)Voltage Range 3.5-24VDC, Pulse Characteristic:F=7Q(L/MIN).
- (3)Extent of error±5%.
- (4)Flow-Pulse  
2L/MIN=16HZ 4L/MIN=32.5HZ 6L/MIN=49.3HZ  
8L/MIN=65.5HZ 10L/MIN=82HZ

### 5.Bom

No.	Item	Material	Qty.
1	Connection wire		1
2	Bonnet	PA	1
3	Screw		4
4	Valve body	PA	1
5	Leak press valve		1
6	Magnet		1
7	Hall		1
8	Impeller	POM	1
9	Rustless steel axis	SUS304	1
10			
11			



## ANEXO 7

### MANUAL DE USUARIO.

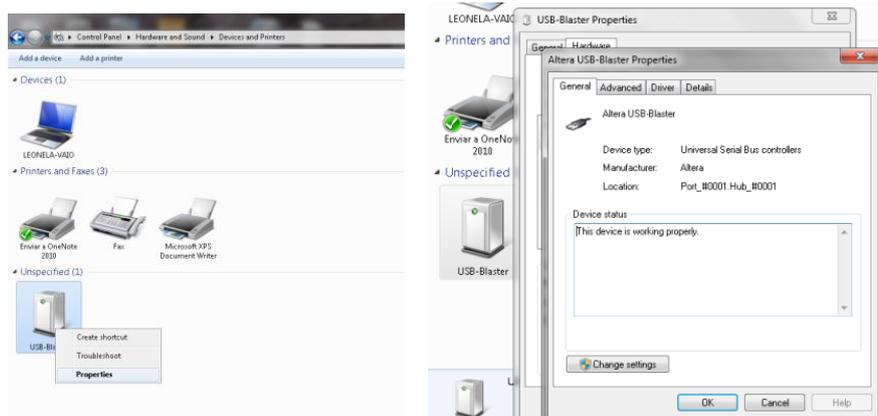
1. Antes de abrir el programa del control del flujo se debe verificar los pasos correspondientes, a la asignación del puerto COM de la tarjeta arduino ó FPGA respetivamente.



### USB BLASTER EN FPGA

#### 2. PASOS PARA VERIFICAR EL COM

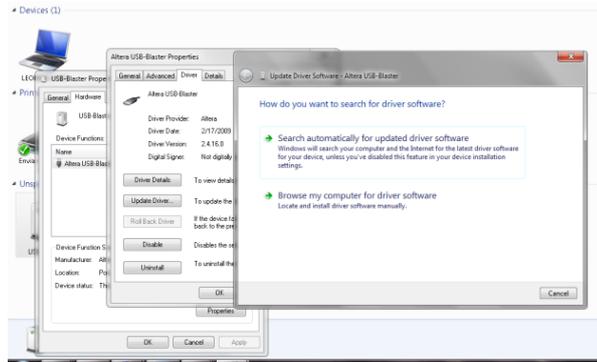
Panel De Control USB Blaster << clip derecho << propiedades << hardware << propiedades.



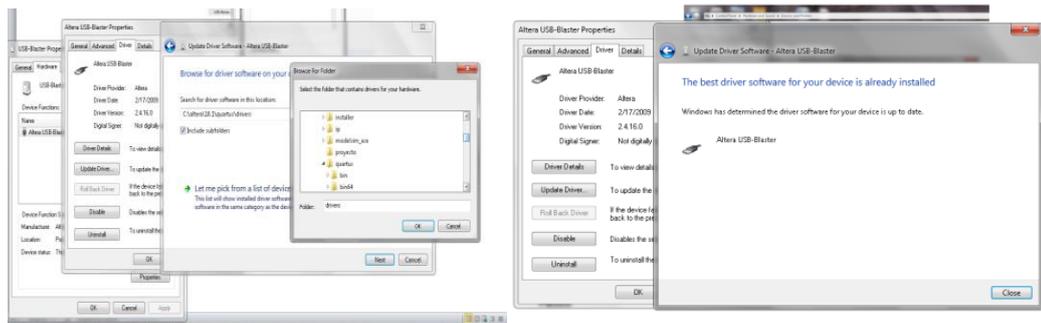
#### 3. Update Driver

- Buscar automáticamente software de controlador actualizado
- Buscar software de controlador en el equipo

Seleccionar Buscar software de controlador en el equipo



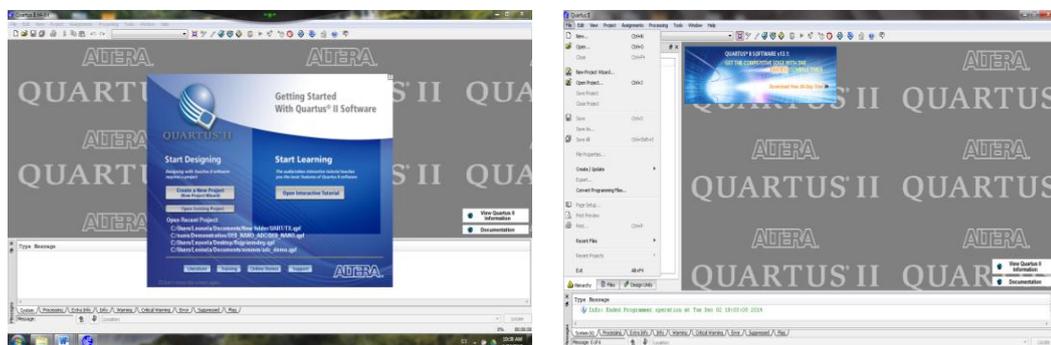
4. **Examinar** << Next // se instaló el Driver correctamente



## PASOS PARA EJECUTAR EL PANEL DE CONTROL DE LA FPGA NANO

5. **Pasos** << Copiar todos los datos de la NANO del CD en el archivo C de la computadora.

Pasos << Abrir Quartus II

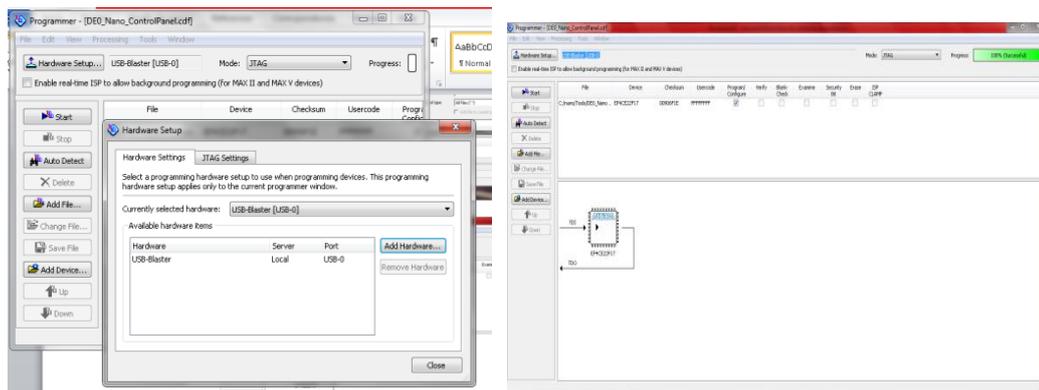


6. **Abrir la carpeta TOOLS** << Seleccionar la carpeta DEO\_NANO\_Control Panel

7. **.Desde Quartus** cargar el archivo CONTROL PANEL.SOF

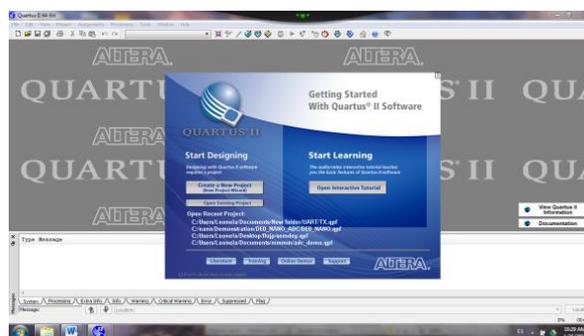


8. **Asignación** del USB Blaster que enlaza con el archivo << Detección Automática del USB \_ Blaster y Carga a la tarjeta el Archivo .SOF



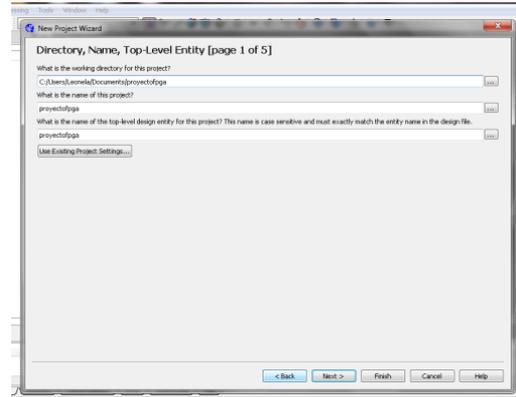
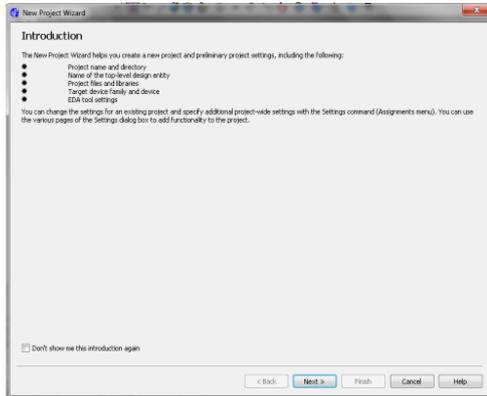
## CREAR UN PROYECTO EN QUARTUS

1. Abrir Quartus II 10.1 << Crear nuevo proyecto // como muestra en la figura.

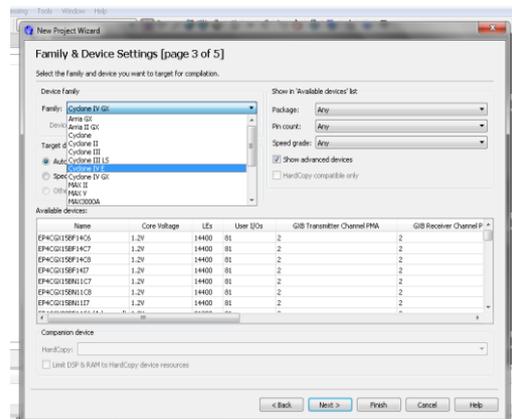
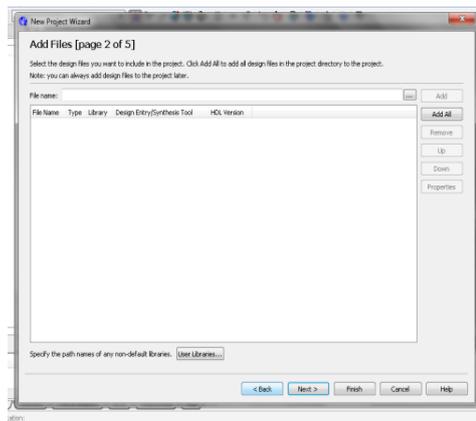


2. Pasos<<siguiente <<guardamos el archivo en la carpeta que deseemos crear el nuevo proyecto en este caso es el directorio del proyecto: Ejem

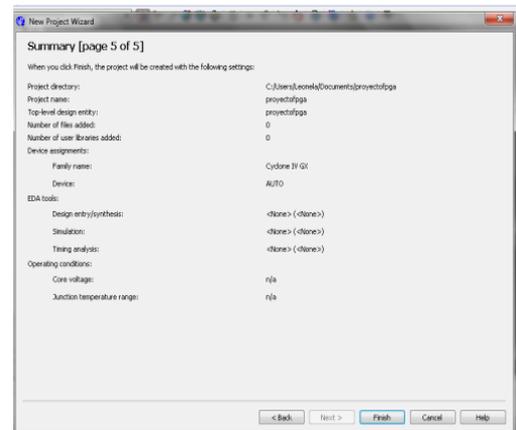
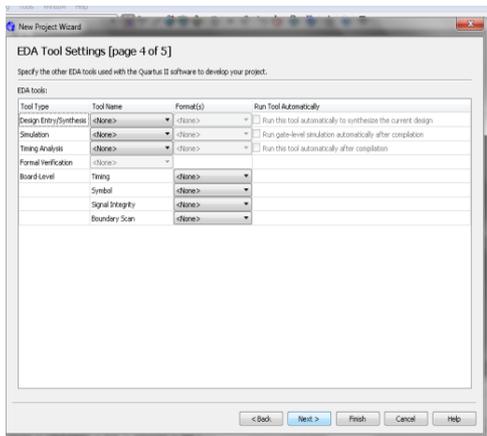
C:/User/leonela/Documents/proyectofpga << Tambien colocar el nombre del proyecto (Pág1 )



3. << Sigiente (Pág 2) << Sigiente (Pág 3) Asignar el dispositivo //ejemplo cyclone IV E <<especificar y seleccionar el dispositivo //ejemplo EP4CEF2217C6.



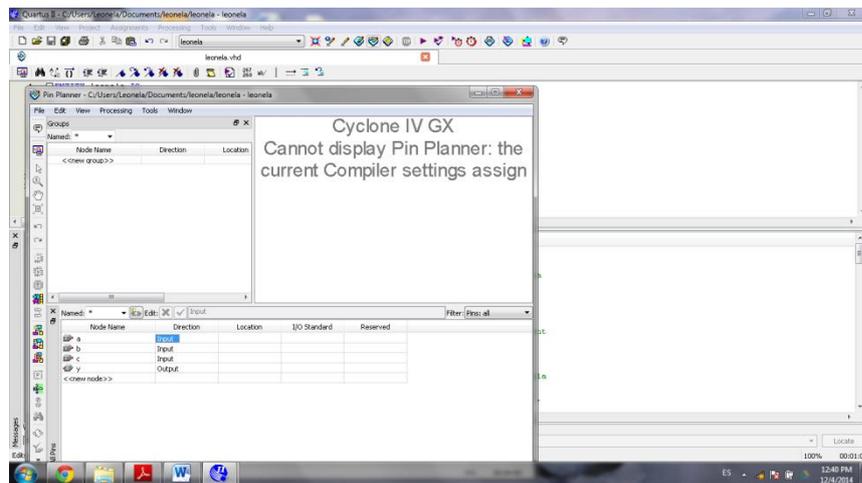
4. Sigiente<<siguiente<<finalizar



- Una vez reconocidos los puertos con procedemos a cargar el archivo que se encuentra en el cd como código principal la FPGA respectivamente.
- Antes de compilar se deben asignar los pines en la FPGA

### PARA ASIGNAR LOS PINES

- En la ventana de Quartus seleccionar << PIN PLANNER // asignar los pines correspondientes a utilizar en la FPGA



- Una vez asignados los pines cargar el programa a la tarjeta y verificar en el LCD que muestren los datos

### PROGRAMACION DE LA FPGA.

Se explica de manera sencilla la herramienta de programación. El procedimiento para la programación de la FPGA depende de los procedimientos que se deseen obtener.

### PROGRAMACIÓN DE TARJETA (MICROCONTROLADORES USADOS).

Pasos para programar:

- Se abre un proyecto con nombre ADC\_LCD
- Se crea un new \*.vhd.
- Se escribe el código en ANEXO.
- Se asigna los siguientes pines para la DEO nano.
- Se compila <<Se envía \*.sof a la tarjeta <<Se prueba la conexión

### USB BLASTER EN ARDUINO



9. Pasos para verificar el com.

Panel De Control USB Blaster << Clip derecho << Propiedades << Hardware  
<<Propiedades <<Verificar que esté el puerto de arduino activo.



10. Una vez reconocidos los puertos con procedemos a cargar el archivo que se encuentra en el cd como código principal para arduino

11. Una vez cargado el programa en el arduino se deberá ejecutar sin error alguno << abrir el monitor serial y se deberá teclear las siguientes letra.

- ✓ o = Primer proceso o etapa
- ✓ p = Segundo proceso o etapa
- ✓ q= Tercer proceso o etapa
- ✓ r = Cuarto proceso o etapa
- ✓ s = Quinto proceso o etapa
- ✓ d = control de flujo

12. Tome en cuenta las siguientes recomendaciones

### **POSIBLES FALLAS EN EL SISTEMA**

- A. SI EL MÓDULO NO ENCIENDE
- Revisar las conexiones del sistema
  - Revisar energía de alimentación

- Revisar Breaker que este en estado ON
- B. SI LAS TARJETAS NO ENCIENDEN
- Revisar fuente de alimentación de 12 V del módulo de fuerza de reles
  - Revisar las conexiones dentro del módulo que esten perfectamente conectadas
  - Revisar cada uno de los pines de alimentación de los microcontroladores .
- C. ELECTROVÁLVULAS NO FUNCIONAN (ENCIENDEN)
- Revisar si existe señal proveniente del arduino hacia el relé de fuerza
  - Revisar si existe señal desde la tarjeta de Arduino o FPGA, a las salidas digitales.
  - Revisar el cable USB de pc a las tarjetas.
- D. BOMBA MONOFÁSICA NO FUNCIONA.
- Revisar si el breaker si esta en estado ON
  - Revisar las salidas digitales conectadas perfectamente
  - Revisar alimentación eléctrica de la Bomba de 110V
- E. EL NIVEL DE AGUA NO AUMENTA NI DISMINUYE
- Verificar que cada una de las electroválvulas estén en excelente estado (V1,V2, V3,V4,V5)
- F. EL NIVEL DE AGUA TIENDE A REBOSAR
- Revisar que los sensores ultrasónicos estén en excelente estado.
  - Revisar la señal de salida en cada uno de los sensores ultrasónicos

## ANEXO 8

### PALABRAS CLAVES

**ANALÓGICO:** **Magnitudes** o valores que varían con el tiempo en forma continúa como la distancia y temperatura

**SENSORES:** Recibe información de una magnitud exterior

**CAUDAL:** Es la cantidad de fluido que pasa por el río en una unidad de tiempo

**LCD:** Liquid crystal display

**E/S:** Entrada salida

**NIVEL:** Altura relativa

**FLUJO:** Caudal de un fluido continuo

**CONTROL AUTOMÁTICO:** Conjunto de componentes físicos.

**FPGA:** Field programmable gate array

**UART: Universal** asynchronous receiver-transmitter

**ADC Analog**-to-digital converter

**JTAG:** Joint test action group

**UART: Universal** asynchronous receiver-transmitter

**PWM:** Pulse Width modulation

**VHDL:** Leguaje de descripción de Hardware

**MICROCONTROLADORES:** Circuito integrado programable.

**PLANTA :** Sistema el cual pretendemos actuar

**VARIABLE:** Es cualquier elemento posee características dinámicas, estáticas, químicas y físicas

**VARIABLE CONTROLADA.** Es la variable directa a regular, sobre la que: constantemente se está pendiente.

**ACTUADOR:** Recibe una orden desde el controlador.

**MICROPROCESADOR:** Circuito integrado central y más complejo de una computadora u ordenador, a modo de ilustración.

**SEÑAL.:** Salida que emana del instrumento