



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE
INSTRUMENTACIÓN PARA MEDIR Y CONTROLAR
VARIABLES DE PRESIÓN, TEMPERATURA, CAUDAL Y
NIVEL, EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL EN LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA
ESPOCH”**

**JARAMILLO GARZÓN HUMBERTO JESÚS
QUITO GARCÍA JHONNATAN PATRICIO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2016**

ESPOCH

Facultad de Mecánica

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TRABAJO
DE TITULACIÓN**

2016-05-09

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

**JESÚS HUMBERTO JARAMILLO GARZÓN
JHONNATAN PATRICIO QUITO GARCÍA**

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN PARA
MEDIR Y CONTROLAR VARIABLES DE PRESIÓN, TEMPERATURA,
CAUDAL Y NIVEL, EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL EN LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos Santillán.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Javier W. Villagrán C.
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Marco Haro M.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JESÚS HUMBERTO JARAMILLO GARZÓN.

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN PARA MEDIR Y CONTROLAR VARIABLES DE PRESIÓN, TEMPERATURA, CAUDAL Y NIVEL, EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL EN LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-11-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Javier Villagrán C. DIRECTOR(A) DE TESIS			
Dr. Marco Haro M. ASESOR(A)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El (La) Presidente (a) del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán.
PRESIDENTE (A) DEL TRIBUNAL

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JHONNATAN PATRICIO QUITO GARCÍA.

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN PARA MEDIR Y CONTROLAR VARIABLES DE PRESIÓN, TEMPERATURA, CAUDAL Y NIVEL, EN EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL EN LA FACULTAD DE MECÁNICA DE LA ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2016-11-25

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Javier Villagrán C. DIRECTOR(A) DE TESIS			
Dr. Marco Haro M. ASESOR(A)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El (La) Presidente (a) del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán.
PRESIDENTE (A) DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Humberto Jesús Jaramillo Garzón

Jhonnatan Patricio Quito García

DEDICATORIA

El presente trabajo le dedico a toda mi familia y a todas las personas muy cercanas a mí, que las considero parte de la familia y en especial a mis abuelitos: Gloria y Marco, a mis hermanos: Julisa, Fernando y Maico, también a mi mamita Irma que desde el cielo me ha brindado fortaleza para seguir adelante en mi formación en este camino de estudiante.

Humberto Jesús Jaramillo Garzón

Dedico este trabajo de titulación a todos aquellos que no creyeron en mí, a aquellos que esperaban mi fracaso en cada paso que daba hacia la culminación de mis estudios, pero sobre todo les dedico a los que sí estuvieron a mi lado durante todo este periodo académico de una forma incondicional pendiente de todo lo que ocurría en el transcurso mi carrera.

Jhonnatan Patricio Quito García

AGRADECIMIENTO

Primero dando gracias a Dios por permitirme dar este paso muy importante en mi vida. Así como agradezco a toda mi familia por su apoyo incondicional y a las personas que sin ser parte de ella aportaron con un granito de arena para poder cumplir este objetivo que parecía inalcanzable, y a todos y cada uno de ellos que me brindaron una palabra de aliento y ánimos para no desistir en este camino de estudiante y también les doy las gracias a todos mis docentes que me brindaron sus conocimientos para poderme formar con profesional.

Humberto Jesús Jaramillo Garzón

En el presente trabajo de titulación le agradezco a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque así hice realidad un sueño tan anhelado. Le agradezco a mi familia por estar apoyándome constantemente y también a las personas que sin ser parte de mi familia han estado ahí con su apoyo incondicional formando parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en los momentos más difíciles de mi vida.

Jhonnatan Patricio Quito García

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general.</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos:</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Estudiar los sistemas de medición y control.....	3
2.2 Control de los procesos y operaciones	4
2.3 Medidores de presión.....	4
2.3.1 <i>Medidores mecánicos.</i>	6
2.3.1.1 <i>Tubo de Bourdon.</i>	7
2.3.1.2 <i>Elemento espiral.</i>	7
2.3.1.3 <i>Diafragma y fuelle.</i>	7
2.3.2 <i>Medidores electromecánicos.</i>	8
2.4 Medidores de temperatura.	10
2.4.1 <i>Unidades de medida de temperatura.</i>	11
2.4.2 <i>Termocuplas.</i>	12
2.4.2.1 <i>Junta caliente o junta de medición.</i>	13
2.4.2.2 <i>Junta fría o de referencia.</i>	13
2.4.2.3 <i>Cables de extensión.</i>	13
2.4.2.4 <i>Principios básicos de operación</i>	14
2.4.2.5 <i>Características de las termocuplas.</i>	14
2.4.2.6 <i>Tipos de termocupla.</i>	15
2.4.2.7 <i>Código de colores para cables de extensión.</i>	16
2.4.2.8 <i>Tubos de protección</i>	17
2.5 Medidores de caudal.....	17
2.5.1 <i>Medidores volumétricos.</i>	18
2.5.1.1 <i>Medidor de presión diferencial.</i>	18

2.5.1.2	<i>Medidor de velocidad.</i>	18
2.6	Medidor de nivel.	20
2.6.1	<i>Medición de nivel de líquidos.</i>	20
2.6.1.1	<i>Medición directa.</i>	20
2.6.1.2	<i>Medición por presión hidrostática o fuerza.</i>	22
2.6.1.3	<i>Medición por características eléctricas del líquido.</i>	23
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS	
3.1	Equipos	25
3.1.1	<i>Estructura mixta.</i>	25
3.1.2	<i>Bombas centrifugas.</i>	26
3.1.3	<i>Electroválvula.</i>	27
3.1.3.1	<i>Funcionamiento.</i>	28
3.1.3.2	<i>Características.</i>	28
3.1.3.3	<i>Especificaciones.</i>	28
3.1.4	<i>Pantalla LCD UTFT TOUCH.</i>	28
3.1.4.1	<i>Características.</i>	29
3.1.5	<i>Banco de relay.</i>	29
3.1.5.1	<i>Circuito esquemático.</i>	30
3.1.5.2	<i>Especificaciones.</i>	30
3.1.6	<i>Fuente de poder.</i>	30
3.1.6.1	<i>Características generales de la fuente.</i>	31
3.1.7	<i>Ventilador.</i>	32
3.1.8	<i>Resistencia cerámica (Niquelinas).</i>	32
3.1.9	<i>Contactador</i>	33
3.1.10	<i>Interruptor de encendido y paro de emergencia.</i>	33
3.2.1	<i>Eagle.</i>	34
3.2.2	<i>Placa electrónica de control.</i>	35
3.2.3	<i>Controlador Arduino.</i>	37
3.2.4	<i>Arduino mega 2560.</i>	37
3.2.4.1	<i>Advertencias.</i>	38
3.2.4.2	<i>Poder.</i>	38
3.2.4.3	<i>Memoria.</i>	40

3.2.4.4	<i>Entrada y salida</i>	40
3.2.4.5	<i>Comunicación</i>	41
3.2.5	<i>Software de programación de arduino versión 1.6.9</i>	41
3.3	<i>Sensores</i>	42
3.3.1	<i>Easypress</i>	42
3.3.1.1	<i>Características constructivas</i>	43
3.3.1.2	<i>Especificaciones</i>	43
3.3.1.3	<i>Conexión hidráulica</i>	44
3.3.2	<i>Sensor de temperatura LM35</i>	44
3.3.2.1	<i>Especificaciones</i>	44
3.3.2.2	<i>Cálculo matemático de la temperatura</i>	44
3.3.3	<i>Sensor de flujo de agua (Caudalímetro)</i>	45
3.3.3.1	<i>Calibrando nuestro sensor de flujo</i>	46
3.3.3.2	<i>Características</i>	46
3.3.3.3	<i>Especificaciones</i>	47
3.3.4	<i>Sensor ultrasónico HC-SR04</i>	47
3.3.4.1	<i>Conceptos básicos</i>	48
3.3.4.2	<i>Especificaciones</i>	48
3.3.4.3	<i>Cálculo matemático del nivel</i>	49
3.3.5	<i>Sensor de nivel electromagnético horizontal</i>	49
3.3.5.1	<i>Características</i>	50
3.3.5.2	<i>Especificaciones</i>	50
3.4	<i>Accesorios usados y diseño del sistema de fluido</i>	51
3.4.1	<i>Accesorios usados</i>	51
3.4.2	<i>Diseño del sistema de fluido</i>	51
3.4.2.1	<i>Bomba B</i>	52
3.4.2.2	<i>Bomba A</i>	52
3.4.2.3	<i>Bomba C</i>	52
4.	PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	
4.1	<i>Programación</i>	53
4.1.1	<i>Análisis lógico</i>	53
4.1.1.1	<i>Primera etapa cuando Temp. Dep.B<Temp. B y Temp. Dep. C<Temp. C</i>	53
4.1.1.2	<i>Segunda etapa cuando Temp. Dep.B<Temp. B y Temp. Dep. C>=Temp. C</i> ... 53	53

4.1.1.3	<i>Tercera etapa cuando Temp. Dep.B</i> \geq <i>Temp. B</i> y <i>Temp. Dep. C</i> $<$ <i>Temp. C</i> ...	54
4.1.1.4	<i>Cuarta etapa cuando Temp. Dep.B</i> \geq <i>Temp. B</i> y <i>Temp. Dep. C</i> \geq <i>Temp. C</i> ...	54
4.2	Análisis con diagrama de flujo de la programación	56
4.3	Guía práctica de funcionamiento	56
4.3.1	<i>Verificación de los elementos.</i>	57
4.3.2	<i>Pasos preliminares.</i>	58
4.3.3	<i>Tomar en cuenta.</i>	58
4.3.4	<i>Operación del tablero de control (pantallas TFT TOUCH).</i>	58
4.3.4.1	<i>Ventana 1.</i>	59
4.3.4.2	<i>Ventana 2.</i>	60
4.3.4.3	<i>Ventana 3.</i>	60
4.3.4.4	<i>Ventana 4.</i>	61
4.3.4.5	<i>A tener en cuenta.</i>	62
4.4	Toma de datos de las variables	63
4.5	Cargar programa desde el software a la tarjeta arduino	64
4.5.1	<i>Verificar.</i>	64
4.5.2	<i>Conectar la tarjeta.</i>	64
4.5.3	<i>Cargar programa.</i>	65
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	
5.1	Costos Indirectos	66
5.2	Costos Directos	66
5.3	Costos Totales	68
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	69
6.2	Recomendaciones	70

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

TABLA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Sistema de control por retroalimentación.....	4
Figura 2. Instrumentos de presión y campo de aplicación.....	5
Figura 3. Clases de presión.	6
Figura 4. Tubo Bourdon y elemento en espiral.	7
Figura 5. Diafragma y fuelle.....	7
Figura 6. Elemento piezoeléctrico.	9
Figura 7. Comparación de las tres diferentes escalas de temperatura.	11
Figura 8. Esquema de un termopar.	13
Figura 9. Partes de un termopar.....	14
Figura 10. Medidor de flujo de Turbina.	19
Figura 11. Medidor de sonda y cinta.	21
Figura 12. Medidor de nivel de cristal.....	21
Figura 13. Medidores de ultrasonido.	24
Figura 14. Estructura mixta para el módulo.	25
Figura 15. Bomba tekno de 1/2 hp.....	27
Figura 16. Electroválvula de 1/2 pulgada.	27
Figura 17. Pantalla LCD UTFT TOUCH.	29
Figura 18. Banco de relay.	29
Figura 19. Diagrama de una canal del banco de relay.	30
Figura 20. Fuente de poder Delux.	31
Figura 21. Mini ventilador.....	32
Figura 22. Niquelinas.....	32
Figura 23. Contactor Siemens.....	33
Figura 24. Interruptor para encendido de pantallas y botón de paro general.	33

Figura 25. Ventana de trabajo de Eagle.....	34
Figura 26. Diagrama electronico de la placa de control hecho en Eagle.....	36
Figura 27. Tarjeta Arduino Mega 2560.	39
Figura 28. Ventana de programación de Arduino.	42
Figura 29. EASYPRESS (presión).	43
Figura 30. Sensor de temperatura LM35 (temperatura).	44
Figura 31. Sensor de flujo YF-S201 (Caudalímetro).....	45
Figura 32. Sensor ultrasónico HC-SR04(Nivel).....	47
Figura 33. Pulsos enviados y recibidos por el sensor.	48
Figura 34. Sensor de nivel electromagnético horizontal (nivel).	50
Figura 35. Esquema del sistema de fluido.	52
Figura 36. Flujograma de programación.	56
Figura 37. Botón de paro de emergencia y interruptor de encendido.....	58
Figura 38. Encendido del sistema de control.....	59
Figura 39. Ventana 1 de las pantallas de control.	59
Figura 40. Ventana 2 de las pantallas de control.	60
Figura 41. Ventana 3 de las pantallas de control.	60
Figura 42. Ventana 4 de las pantallas de control.	61
Figura 43. Válvula y conexión de manguera para el desfogue de fluido.	63
Figura 44. Verificación del programa.....	64
Figura 45. Conexión de tarjeta a computador.....	65
Figura 46. Cargar el programa en la tarjeta.	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Unidades de presión. Equivalencia.....	5
Tabla 2. Elementos mecánicos de presión.	8
Tabla 3. Características elementos electromecánicos.....	10
Tabla 4. Conversión de unidades de temperatura.....	12
Tabla 5. Códigos de colores para cables de extensión.....	16
Tabla 6. Métodos de medición de flujo.	17
Tabla 7. Materiales que se utilizaron en la construcción.	26
Tabla 8. Características técnicas de la bomba.	27
Tabla 9. Detalle de los elementos que forman parte de la placa electrónica.	35
Tabla 10. Especificaciones técnicas de Arduino Mega 2560.	37
Tabla 11. Especificaciones técnicas del Easypress.....	43
Tabla 12. Listado de accesorios del sistema de fluido.....	51
Tabla 13. Elementos usados en la distribución de la bomba B.....	52
Tabla 14. Elementos usados en la distribución de la bomba A.	52
Tabla 15. Elementos usados en la distribución de la bomba C.....	52
Tabla 16. Análisis analógico con tablas de verdad.....	55
Tabla 17. Medición de tiempos de las variables Caudal y Presión.....	63
Tabla 18. Medición de tiempos de la variable Temperatura.....	63
Tabla 19. Medición de tiempos de la variable Nivel.	63
Tabla 20. Costos indirectos.....	66
Tabla 21. Lista de materiales y costos.	67
Tabla 22. Costos de mano de obra.	68
Tabla 23. Costos totales.	68

LISTA DE ABREVIACIONES

PWM	Modulación por Ancho de Pulso.
f.e.m.	Fuerza electromotriz.
PID	Proporción Integral, derivativa.
GND	Ground = Tierra o Neutro.
TTL	Transistor, Transistor Logic.
SPI	Serial Peripheral Interface.
LED	Diodo emisor de luz.
AREF	Voltaje de referencia para las entradas analógicas.
IDE	Integrated Development Environment.

LISTA DE ANEXOS

A MANUAL DE SEGURIDAD

Indicaciones iniciales.

Precauciones en la instalación y antes de ponerlo en operación.

Precaución en la operación.

Riesgos presentes en el módulo de instrumentación.

Señalética presente para el módulo de instrumentación industrial

B MANUAL DE MANTENIMIENTO

Actividades preventivas.

Actividades correctivas.

Frecuencias de mantenimiento para equipos del módulo.

C PLAN DE MANTENIMIENTO DEL MÓDULO DE INSTRUMENTACIÓN

Importante.

Mantenimiento general.

Control de mantenimiento del módulo de instrumentación.

Ficha técnica del módulo de instrumentación.

Ficha de mantenimiento.

D CIRCUITO ELECTRÓNICO

E GUÍAS DE LABORATORIO

Guía 1.

Guía 2.

Guía 3.

F DIGITALIZACIÓN DE LOS CÓDIGOS DE LA PROGRAMACIÓN EN LA PLATAFORMA ARDUINO

Programación de la tarjeta arduino mega 2560 número uno.

Programación de la tarjeta número dos.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación contiene el desarrollo y la elaboración del módulo de instrumentación que será implementado para el laboratorio de automatización industrial de la Facultad de Mecánica, que será utilizado, para controlar y medir las variables de presión, temperatura, caudal y nivel de un sistema de fluido, utilizando tecnología innovadora simulando procesos industriales. Se aplicó el método deductivo para obtener las variables físicas ya establecidas en el presente trabajo, que fue comprobada su validez mediante la conexión de diferentes sensores. Los diferentes dispositivos y elementos fueron programados en el software Arduino que permite una comunicación analógica de los sensores, obteniendo resultados digitales en las pantallas de control del módulo de instrumentación y mediante prácticas de medición de presión, temperatura, caudal y nivel, fueron analizadas directamente por cada uno de los sensores obteniendo valores en tiempo real y de forma continua sin existir la presencia de riesgos del usuario. El módulo de instrumentación demuestra ser confiable y seguro, puesto que es capaz de controlar y medir las cuatro variables y simular un proceso industrial y adicionalmente se recomienda que el usuario debe tener previos conocimientos para manipular todos los elementos que fueron incorporados para el módulo de instrumentación.

PALABRAS CLAVES: <MILIVOLTIOS (mV)>, <HOJA DE CÁLCULO>, <INGENIERÍA DE SOFTWARE>, <MÁQUINAS Y HERRAMIENTAS>, <INGENIERÍA DE CONTROL AUTOMÁTICO>, < FUERZA ELECTROMOTRIZ (f.e.m.)>, <MODULACIÓN POR ANCHO DE PULSO (pwm)>, <VOLTAJE DE CORRIENTE DIRECTA (VDC)>.

ABSTRACT

The present degree contains the development and elaboration of the instrumentation module that will be implemented for the industrial automation laboratory of the Faculty of Mechanics, which will be used to control and measure the variables of pressure, temperature, flow and level of a system of fluid using innovative technology simulating industrial processes. The deductive method was applied to obtain the physical variables already established in the present research, its validity was verified by connecting different sensors. The different devices and elements were programmed in the Arduino software that allows an analog communication of the sensors, obtaining digital results in the control screens of the instrumentation module and through practices of measurement of pressure, temperature, flow and level, were analyzed directly by each of the sensors obtaining values in real time and continuously without the existence of risks of the user. The instrumentation module proves to be reliable and safe since it is able to control and measure the four variables and simulate an industrial process and additionally it is recommended that the user must have previous knowledge to manipulate all the elements that were incorporated for the instrumentation module.

KEY WORDS: <MILIVOLTIOS (mV)>, <CALCULATION SHEET>, <SOFTWARE ENGINEERING>, <MACHINERY AND TOOLS>, <AUTOMATIC CONTROL ENGINEERING>, <ELECTROMOTRIZING FORCE (f.e.m.)>, <PULSE WIDTH MODULATION (pwm)>, <DIRECT CORREDIN VOTING (VDC)>.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

A medida del paso de los años se ha hecho cada vez más imprescindible el estudio y la medición de las variables físicas que nos rodean, para su posterior tratamiento ya sea para la automatización o control de los sistemas. Pero más común y necesario aun se ha vuelto el uso de métodos basados en software ya sea para monitoreo o control de dichos sistemas.

En la actualidad hablar de instrumentación industrial en los sistemas de producción es algo normal debido a las mejoras en tecnología y estas nuevas tecnologías son utilizadas en universidades, empresas e instituciones, estos equipos son eléctricos y electrónicos que de acuerdo con la programación pueden ser manipulados para su correcto funcionamiento. Con la ayuda de un nuevo software e instrumentos podemos medir y controlar las variables de presión, temperatura, caudal y nivel de un sistema de fluido.

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento de la Facultad de Mecánica de la ESPOCH cuenta con un laboratorio de automatización industrial donde se encuentran equipos automatizados con los que los estudiantes realizan sus prácticas de automatización. Pero debido al adelanto tecnológico de los procesos de automatización nos encontramos con la necesidad de utilizar equipos de monitoreo y medición que serán un complemento muy útil en nuestra formación académica.

En la Facultad de Mecánica se han realizado tesis en relación con el control de variables físicas, entre estas se encuentra la Instalación y Montaje de un Banco de pruebas de Presión, temperatura y nivel para el Laboratorio de Instrumentación de la Facultad de Mecánica.

En los banco de pruebas se ha instalado diferentes tipos de instrumentos para el control de nivel, pero sobresale un sensor de ultrasonido, el cual tiene la capacidad de registrar el nivel de forma continua.

1.2 Justificación

En la Facultad de Mecánica, en la carrera de Ingeniería de Mantenimiento existe la necesidad de implementar un módulo para el desarrollo de prácticas en medición y control, donde se pueda analizar el comportamiento de las variables de presión, temperatura, caudal y nivel del fluido, con el propósito que todos los estudiantes que se encuentren cursando la cátedra de instrumentación puedan verificar mediante la manipulación y control de variables.

Se debe mencionar que la implementación de este módulo se realizará con elementos de nueva tecnología que pueda simular a lo industrial, lo que es de gran ayuda para mejorar los conocimientos y formación de los estudiantes.

Con los conocimientos adquiridos en la cátedra de instrumentación industrial se obtendrá una visión en procesos que existen actualmente en muchas empresas, y que las mismas tienen sistemas eficientes aplicando instrumentos que son necesarios para su correcto funcionamiento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general. Implementar un módulo de instrumentación para medir y controlar variables de presión, temperatura, caudal y nivel, en el laboratorio de automatización industrial en la Facultad de Mecánica de la ESPOCH.

1.3.2 Objetivos específicos:

Seleccionar los equipos, instrumentos y accesorios necesarios, con las especificaciones técnicas requeridas para su operación y puedan ser implementados en un módulo de medición y control de variables.

Controlar y medir las variables de presión, temperatura, caudal y nivel de un sistema de fluido.

Generar una guía práctica del funcionamiento del módulo de medición y control de variables.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Estudiar los sistemas de medición y control

Los sistemas de medición y control se usan para muchos fines detallados en una amplia variedad de áreas en la industria.

En los inicios de la era industrial, la operatoria de los procesos se llevaba a cabo con un control manual de estas variables utilizando solo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que éstos se han ido desarrollando ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de medición y control. Estos instrumentos han ido liberando al personal de campo de su actuación física directa en la planta y, al mismo tiempo, le han permitido una labor única de supervisión y vigilancia del proceso desde centros de control situados en el mismo proceso; así mismo, gracias a los instrumentos, se ha podido fabricar productos complejos y que estos tengan un grado de calidad competente.

Los procesos industriales exigen el correcto control de la fabricación de los diversos procesos productivos. Además estos procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos fáciles y complejos de producir, de los cuales tenemos: la fabricación de los productos derivados del petróleo, de los productos alimenticios, la industria cerámica, las centrales generadoras de energía, la siderurgia, los tratamientos térmicos, la industria papelera, y la industria textil, la industria cementera, etc.

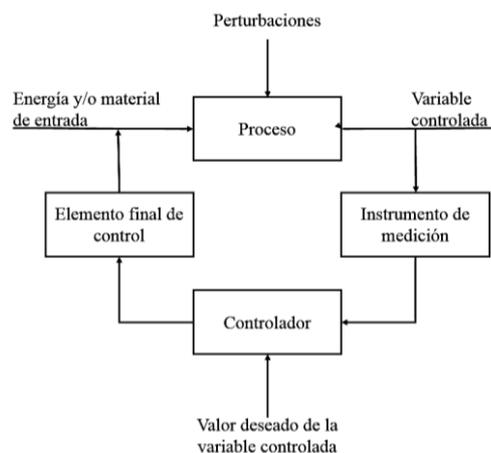
En todos estos procesos, es absolutamente necesario medir, controlar y de alguna manera mantener constantes algunas magnitudes o variables, tales como la presión, la temperatura, el caudal, el nivel, el PH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el punto de rocío, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes en condiciones más idóneas que las que el propio operador podría realizar manualmente. (CREUS SOLÉ, 2010) (DOEBELIN, 2005)

2.2 Control de los procesos y operaciones

Es una de las más importantes aplicaciones de la medición. Esto suele referirse a un sistema automático de control por retroalimentación, como se muestra en la forma de diagrama, en términos genéricos, en la figura 1. Este tipo de aplicación se las puede encontrar en las áreas de estudio en: mecánica, aeroespacial, eléctrica, química, e industrial incluye un curso obligatorio en sistemas de control (DOEBELIN, 2005).

El tema del control por retroalimentación resulta pertinente en este estudio de sistemas de medición de dos maneras básicas; una es el uso de sensores en los sistemas de ese tipo de control, y la otra se relaciona con el hecho de que en muchos sistemas de medición por si mismos se aplican sistemas de retroalimentación en su operación (DOEBELIN, 2005).

Figura 1. Sistema de control por retroalimentación.



Fuente: Sistema de medición e instrumentación, diseño y aplicación, (DOEBELIN, 2005 pág. 6).

2.3 Medidores de presión

La presión es una fuerza por unidad de superficie y puede expresarse en diferentes unidades como: Pascal, bar, atmósferas, etc. Aunque el Pascal es una unidad muy pequeña se emplean también el kilopascal, Megapascal. En la industria se utiliza también el bar ($1\text{bar} = 10^5\text{ Pa} = 1.02\text{ kg/cm}^2$), si bien esta última unidad, a pesar de su uso todavía muy extendido, se emplea cada vez con menos frecuencia, en particular en nuevas plantas industriales.

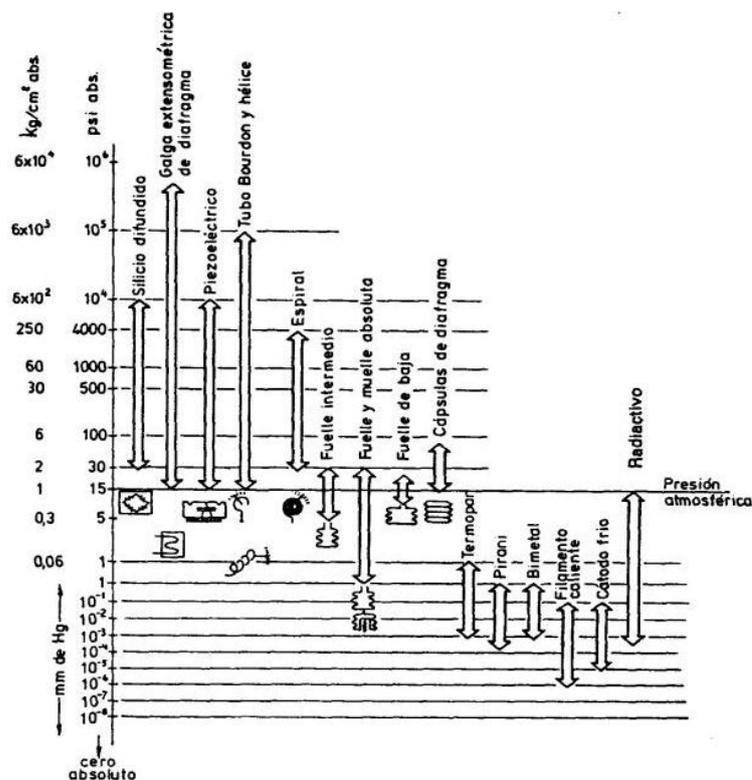
Tabla 1. Unidades de presión. Equivalencia.

	Psi	Pulgada a c.de a.	Pulgada c. de Hg	Atmósfera	kg/cm	cm c. de a.	mm c. de Hg	Bar	Pa
Psi	1	27,68	2,036	0,068	0,0703	70,31	51,72	0,0689	6894,76
Pulgada c.de a.	0,0361	1	0,0735	0,0024	0,0025	2,54	1,868	0,0024	249
Pulgada c. de Hg	0,4912	13,6	1	0,0334	0,0345	34,53	25,4	0,0338	3386,39
Atmósfera	14,7	406,79	29,92	1	1,033	1033	760	1,0132	1,0132 x 10
kg/cm	14,22	393,7	28,96	0,9678	1	1000	735,6	0,98	98066
cm c. de a.	0,0142	0,3937	0,0289	0,00096	0,001	1	0,7355	0,0009	98,06
mm c. de Hg	0,0193	0,5353	0,0393	0,0013	0,0013	1,359	1	0,00133	133,322
Bar	14,5	401	29,53	0,987	1,02	1020	750	1	10
Pa	0,00014	0,004	0,00029	0,987 x 10	0,102 x 10	0,01	0,0075	10	1

Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 91).

En la tabla 1. Se aprecian las equivalencias entre las unidades. En la figura 2. se representan los instrumentos de presión, vacío y su campo de aplicación.

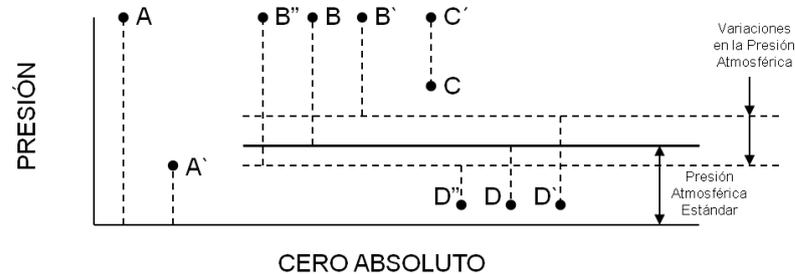
Figura 2. Instrumentos de presión y campo de aplicación.



Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 92).

- *Presión absoluta.* Que se mide con relación al cero absoluto de presión (puntos A y A' de la figura 3).

Figura 3. Clases de presión.



Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 93).

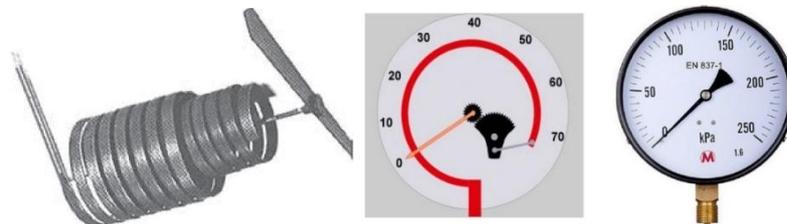
- *Presión atmosférica.* Es la presión ejercida por la atmósfera terrestre medida mediante un barómetro. A nivel del mar, esta presión es próxima a 760 mm (29,9 pulgadas) de Hg absolutos o 14,7 psia o bien 1.01325 bar y estos valores definen la presión ejercida por la atmosfera estándar.
- *Presión relativa.* Que es la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica del lugar donde se realiza la medición (punto B de la figura 3). Hay que señalar que al aumentar o disminuir la presión atmosférica, aumenta o disminuye respectivamente la presión leída (puntos B' Y B''), si bien ello es despreciable al medir presiones elevadas.
- *Presión diferencial.* Es la diferencia entre dos presiones, puntos C y C'.
- *Presión de vacío.* Es la diferencia de presiones entre la presión atmosférica existente y la presión absoluta, Es decir es la presión medida por debajo de la atmosférica (puntos D, D' y D''), las variaciones de la presión atmosférica influyen considerablemente en las lecturas del vacío.

2.3.1 Medidores mecánicos. Podemos dividirlos en elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por una columna líquido de densidad y altura conocidas (barómetro cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado, manómetro de toro pendular, manómetro de campana) y en elementos primarios elásticos que se deforman con la presión interna del fluido que contienen. Los elementos primarios elásticos más empleados son el tubo de Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle (CREUS SOLÉ, 2010).

2.3.1.1 Tubo de Bourdon. Es un tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo, cerrado por un extremo. Al aumentar la presión en el interior del tubo, este tiende a enderezarse y el movimiento es transmitido a la aguja indicadora, por un sector dentado y un piñón.

2.3.1.2 Elemento espiral. Se forma arrollando el tubo Bourdon en forma de espiral de un eje común, y el helicoidal arrollando más de una espira en forma de hélice. Estos elementos proporcionan un desplazamiento grande del extremo libre y, por ello, son ideales para los registradores.

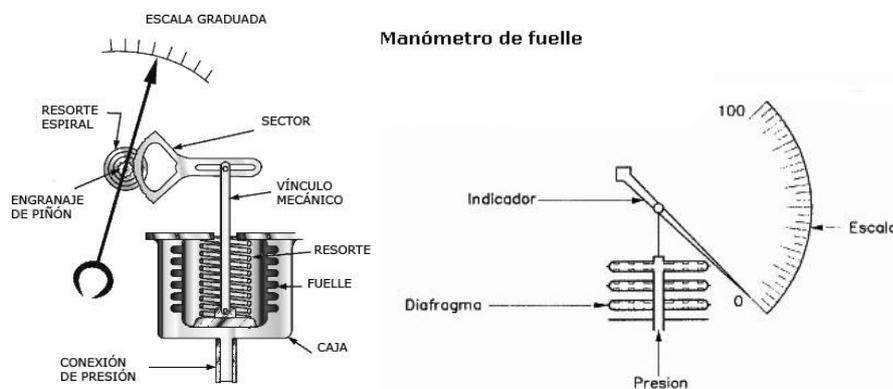
Figura 4. Tubo Bourdon y elemento en espiral.



Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 93).

2.3.1.3 Diafragma y fuelle. Consiste en una o varias cápsulas circulares conectadas rígidamente entre sí por soldadura, de forma que al aplicar presión, cada cápsula se deforma y la suma de los pequeños desplazamientos, es amplificado por un juego de palancas. El sistema se proyecta de tal modo que, al aplicar presión, el movimiento se aproxima a una relación lineal en un intervalo de medida lo más amplio posible con un mínimo de histéresis y de desviación permanente en el cero del instrumento.

Figura 5. Diafragma y fuelle.



Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 94).

El fuelle es parecido al diafragma compuesto, pero de una sola pieza flexible axialmente, y puede dilatarse o contraerse con un desplazamiento considerable. En general, los instrumentos de presión se conectan al proceso después de que las líneas han sido perfectamente lavadas y probadas hidrostáticamente. En la tabla 2 se ilustra un resumen de los distintos elementos mecánicos de presión.

Tabla 2. Elementos mecánicos de presión.

	Campo de medida	Exactitud en % de toda la escala	Temp. Máx. de servicio °C	Sensibilidad a vibraciones
Barómetro cubeta	(0,1 - 3) m cda	0,5-1%	Ambiente	6 bar
Tubo en U	(0,2 - 1,2) m cda	0,5-1%		10 bar
Tubo inclinado	(0,01 - 1,2) m cda			↓
Toro pendular	(0,5 - 10) m cda			100 - 600 bar
Manómetro campana	(0,005 - 1) m cda		↓	Atmosférica
Tubo Bourdon	(0,5 - 6000) bar		90 °C	6000 bar
Espiral	(0,5 - 2500) bar			2500 bar
Helicoidal	(0,5 - 5000) bar			5000 bar
Diafragma	(50 mm cda - 2 bar)			2 bar
Fuelle	(100 mm cda - 2 bar)	↓	↓	↓
Presión absoluta	(6 - 760) mm hg abs	1%	Ambiente	Atmosférica
sello volumétrico	(3 - 600) bar	0,5-1%	400 °C	600 bar

Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 96).

2.3.2 Medidores electromecánicos. Los elementos electromecánicos de presión utilizan un elemento mecánico combinado con un transductor eléctrico, que genera la correspondiente señal eléctrica, el elemento mecánico consiste en un tubo Bourdon, espiral, hélice, diafragma, fuelle o una combinación de los mismos que a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o un desplazamiento mecánico.

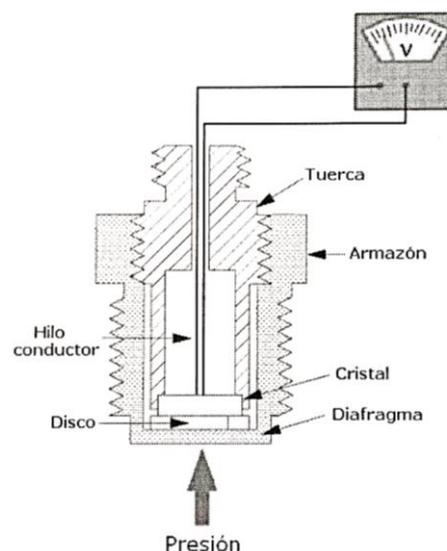
Los elementos electromecánicos se clasifican según su principio de funcionamiento en los siguientes tipos:

- *Elementos resistivos.* Están constituidos de un elemento elástico (tipo Bourdon o cápsula) que varía la resistencia óhmica de un potenciómetro en función de la presión. Este está conectado a un circuito de puente de Wheatstone.
- *Elementos de inductancia variable.* Utilizan el transformador diferencial variable lineal (LVDT) que proporciona una señal en c.a. proporcional al movimiento de una

armadura de material magnético situado dentro de un imán permanente o una bobina que crea un campo magnético. Debido al cambio de presión en el proceso, cambia la posición de la armadura y varía el flujo magnético.

- *Elementos de reluctancia variable.* Se basa en el desplazamiento mecánico, debido a la presión de un núcleo magnético situado en el interior de una o dos bobinas. La variación de la reluctancia magnética produce una modulación de inductancia efectiva que es función de la presión del fluido.
- *Elementos capacitivos.* Se basan en la variación de capacidad que se produce en un condensador al desplazarse una de sus placas por aplicación de presión. La placa móvil tiene forma de diafragma y se encuentra fijada entre dos placas fijas.
- *Elementos de galgas extensiométricas.* Se basan en la variación de longitud, diámetro y resistencia, que tienen lugar cuando un hilo de resistencia se encuentra sometido a una tensión mecánica por la acción de una presión. Existen dos tipos de galgas extensiométricas que son: galgas cementadas y galgas sin cementar; las galgas extensiométricas tienen una respuesta frecuencial excelente.
- *Elementos piezoeléctricos.* Son materiales cristalinos que, al deformarse físicamente por la acción de una presión, generan un potencial eléctrico. Dos materiales típicos en los transductores piezoeléctricos son el cuarzo, y el titanato de bario, capaces de soportar temperaturas elevadas de 150 °C en servicio continuo y 230 °C en servicio intermitente.

Figura 6. Elemento piezoeléctrico.



Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 100).

A continuación en la Tabla 3 se detalla de una manera más clara y resumida las características de los elementos electromecánicos descritos anteriormente.

Tabla 3. Características elementos electromecánicos.

		Margen en bar	Exactitud en % de toda la escala	Estabilidad en el tiempo	Sobre carga	Temp. Máx. de servicio °C	Nivel señal salida	Impedancia salida	Error de cero por influencia temperat. Amb.	Resolución	Sensibilidad a vibraciones
Equilibrio de fuerza		(2-6000)	0,5	Media a mala	150%	65	10V	600 ohm	(0,9-2,3)%	Continua	Alta
Resistivos		(0-0,1 a 0-300)	1	Mala	150%	80	Variac. Res.	0-Res. Total	(0,7-3)%	0,25%	
Magnéticos	Inductancia variable	↓	0,5	Media	150%	↓	(0-5V)	2 Kohm	(0,9-2,3)%	continua	
	Reluctancia variable	↓	1	Media	150%	↓	(0-5V)	2 Kohm	(0,6-2,4)%		↓
Capacitivos		(0,05-5 a 0,05-600)	1	Media a buena	150%	150	↓	5 Kohm	(0,5-1,9)%		Media
Galgas extensiométricas	Cementados	(0-0,5 a 0-3000)	0,5	Mala	↓	120	35mV	350 ohm	(0,5-2,4)%		Alta
	Sin cementar	(0-0,01 a 0-600)	1	Mala	200%	↓	↓	350 ohm	↓		↓
	Piezoresistivo	(0-2 a 0-600)	0,3	Muy buena	200%	107	(2-10V)	600 ohm	(0,4-1)%	↓	Despresiable
Piezoelectricos		(0,1-600)	1	Mala	↓	90	600 Mv/bar	100 Mohm	(1-4,8)%	(1/5000)	Baja

Fuente: Instrumentación industrial (CREUS SOLÉ, 2010 pág. 100).

2.4 Medidores de temperatura.

La temperatura es una variable presente en la mayoría de procesos industriales. A menudo se confunde la temperatura con el calor, pero en realidad son dos variables íntimamente ligadas y a la vez diferentes.

Para medir la temperatura en la mayoría de los casos se utilizan los termómetros, los cuales pueden mostrar el valor en dos escalas Fahrenheit y la Centígrada. Las limitaciones del sistema de medida quedan definidas en cada tipo de aplicación, por la precisión, por la velocidad de captación de la temperatura, por la distancia entre el elemento de medida, el aparato receptor y por el tipo de instrumento indicador, registrador o controlador necesarios.

Es importante señalar que es de esencial comprensión de los distintos métodos de medida con sus ventajas y desventajas propias para lograr una selección óptima del sistema más adecuado.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólido, líquido y gases);
- Variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia);
- Variación de resistencia de un semiconductor (termistores);
- f.e.m. creada en la unión de dos metales diferentes (termopares);
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación).

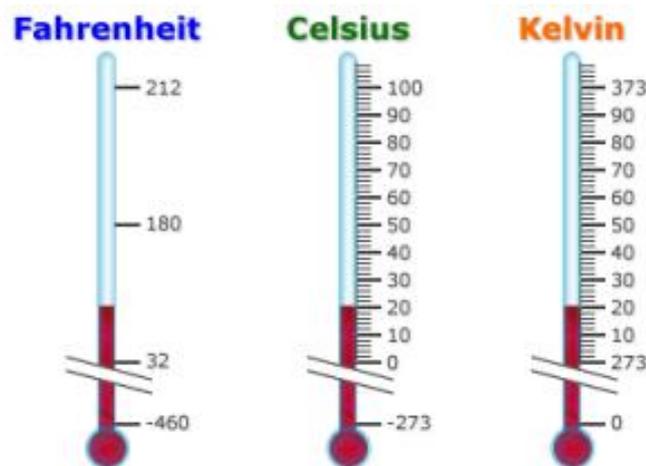
2.4.1 Unidades de medida de temperatura. Las unidades de medida de la temperatura pueden ser absolutas y relativas. Para la graduación de las escalas de temperatura se utilizan como puntos de referencia los puntos de congelación y ebullición del agua. En el Sistema Métrico Decimal, la unidad de medida de temperatura es el grado centígrado ($^{\circ}\text{C}$), al punto de congelación y ebullición le corresponde el 0°C y 100°C respectivamente.

La escala Absoluta en éste Sistema es el grado Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), la graduación del cero absoluto se encuentra 273°C por debajo del punto de congelación del agua.

En el Sistema Ingles, la unidad de medida de temperatura es el grado Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), al punto de congelación y ebullición del agua le corresponde la graduación 32°F y 212°F respectivamente.

A continuación se muestra la relación entre las escalas de temperatura y sus equivalencias.

Figura 7. Comparación de las tres diferentes escalas de temperatura.



Fuente: (LÓPEZ, y otros, 2011).

Aunque parezca confuso, cada una de las tres escalas de temperatura permite medir la energía del calor de una manera ligeramente diferente. Estas pueden ser convertidas fácilmente con las formulas detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 4. Conversión de unidades de temperatura.

De	Hacia Fahrenheit	Hacia Celsius	Hacia Kelvin
°F	°F	$(°F - 32) / 1.8$	$(°F - 32) * 5 / (9 + 273.15)$
°C	$(°C * 1.8) + 32$	°C	$°C + 273.15$
°K	$(°K - 273.15) * 9 / (5 + 32)$	$°K - 273.15$	°K

Fuente: (LÓPEZ, y otros, 2011).

2.4.2 Termocuplas. Una termocupla básicamente es un transductor de temperaturas, es decir un dispositivo que convierte una magnitud física en una señal eléctrica. Está constituida por dos alambres metálicos diferentes que unidos desarrollan una diferencia de potencial eléctrica entre sus extremos libres, que es aproximadamente proporcional a la diferencia de temperaturas entre estas puntas y la unión.

Se suelen fabricar con metales puros o aleaciones y la característica más notable es que son empleadas para medir temperaturas en un rango notablemente grande comparadas con otros termómetros. Valores típicos del rango están entre 70 °K y 1700 °K, pudiéndose llegar en algunas circunstancias con aleaciones especiales hasta los 2000 °K.

Su funcionamiento, se basa en un descubrimiento hecho por Seebeck en 1821: si se sueldan dos metales diferentes, cuyos extremos están a distintas temperaturas, aparece una f.e.m. Posteriormente, se mostró que esta f.e.m proviene en realidad de dos efectos diferentes:

- *Primer efecto.* Resulta solo del contacto entre dos metales disimiles y la temperatura de dicha unión. Este es el llamado efecto Peltier es debido a la difusión de electrones desde el conductor con mayor densidad electrónica al de menor densidad.
- *Segundo efecto.* Debido a los gradientes de temperatura a lo largo de los conductores en el circuito. Este es el llamado efecto Thompson es debido al flujo de calor entre

los extremos de los conductores, que es transportado por los electrones, induciendo entonces una f.e.m. entre los extremos de los mismos.

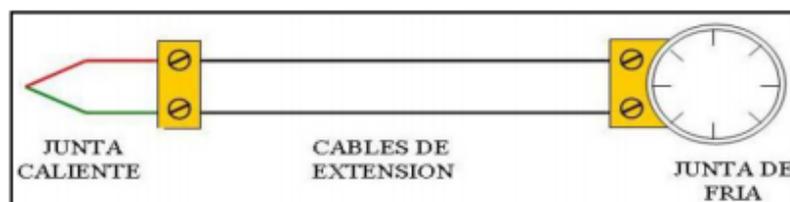
En la mayoría de los casos, la f.e.m. Thompson es bastante pequeña en comparación con la f.e.m. Peltier y, dependiendo de los materiales elegidos para la termocupla, la f.e.m. Thompson puede ser despreciada. Históricamente, se llamó efecto Seebeck a la combinación de los efectos Thompson y Peltier. Debemos mencionar también, que la inserción de un metal intermedio en el circuito de una termocupla no afecta la f.e.m. neta, si las dos uniones con el tercer metal se mantienen a la misma temperatura.

2.4.2.1 Junta caliente o junta de medición. Es el termopar propiamente dicho, se denomina caliente porque es la parte del instrumento que está en contacto con el medio del cual se quiere obtener la temperatura.

2.4.2.2 Junta fría o de referencia. Es la parte del instrumento donde se realiza la medida y que generalmente se mantiene a una temperatura relativamente constante, en la mayoría de casos a la temperatura del ambiente.

2.4.2.3 Cables de extensión. Son los conductores que unen la junta caliente con la junta fría. A cada tipo de termopar le corresponde cables de extensión específicos, de lo contrario se alteraría el valor de la medida por la presencia de un tercer termopar. Los cables de compensación entre el termopar y el instrumento indicador deben cumplir con los requisitos para los cables aislados en sistemas de potencia. En casos excepcionales, se pueden aplicar las normas para los cables aislados en los sistemas de telecomunicaciones.

Figura 8. Esquema de un termopar.

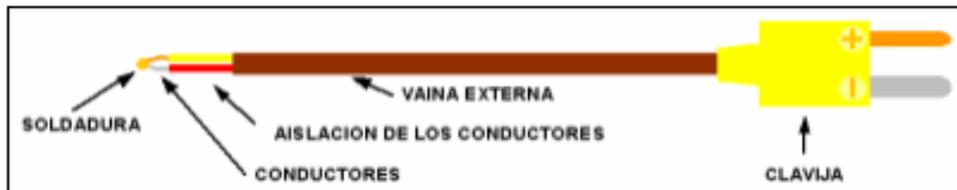


Fuente: (LÓPEZ, y otros, 2011).

2.4.2.4 Principios básicos de operación.

- Las termocuplas están formadas por la unión de dos metales distintos, los cuales se encuentran soldados por uno de sus extremos y por el otro extremo se dejan separados.

Figura 9. Partes de un termopar.



Fuente: (LÓPEZ, y otros, 2011).

- El voltaje que aparece en los extremos de la unión, conocido como voltaje Seebeck aumenta con la temperatura.
- La medición de temperatura es relativa, ya que depende de la unión de la temperatura de la unión de referencia.
- De acuerdo al tipo de metales que forman la termocupla, se clasifican las termocuplas: B, C, E, J, K, L, N, R, S, T, U.
- La relación voltaje temperatura es no lineal.
- La medición con termocupla requiere la compensación de la unión de referencia.

2.4.2.5 Características de las termocuplas.

- Presentan el más amplio rango de temperatura con respecto a los otros sensores de temperatura.
- Son resistentes al ambiente.
- Son exactas.
- Son sensibles.
- Autoalimentadas.
- Bajo costo.
- Requieren de otro sensor de temperatura.

2.4.2.6 Tipos de termocupla. Para escoger los materiales que forman el termopar se tomó en cuenta algunos factores que garanticen su mantenimiento y comercialización y hasta el momento se han desarrollado los siguientes tipos.

- *Cobre - Constantan (TIPO T).* Están formados por un alambre de cobre como conductor positivo y una aleación de 60% de cobre y 40% de níquel como elemento conductor negativo. Tiene un costo bajo, se utiliza para medir temperaturas bajo 0 °C. Y como límite superior se puede considerar los 350 °C, ya que el cobre se oxida violentamente a partir de los 400 °C.
- *Hierro - Constantan (TIPO J).* En este tipo de junta el hierro es electropositivo y el constantan electronegativo. Mide temperaturas superiores que el anterior ya que el hierro empieza a oxidarse a partir de los 700 °C. No se recomienda su uso en atmósfera donde exista oxígeno libre.
- *Chromel - Alumel (TIPO K).* Una aleación de 90% de níquel y 10% de cromo es el conductor positivo y un conductor compuesto de 94% de níquel, 2% de Aluminio, 3% de manganeso y 1% de Silicio como elemento negativo. Este termopar puede medir temperaturas de hasta 1200 °C. Ya que el níquel lo hace resistente a la oxidación. Se los utiliza con mucha frecuencia en los hornos de tratamientos térmicos. Su costo es considerable lo que limita su utilización.
- *Platino rodio - Platino (TIPO R).* Tienen como conductor negativo un alambre de platino y como conductor positivo una aleación de 87% de platino con 13% de sodio. Este tipo de junta desarrollada últimamente con materiales de alta pureza que son capaces de medir hasta 1500°C si se utilizan las precauciones debidas. Son muy resistentes a la oxidación pero no se aconseja su aplicación en atmósferas reductoras por su fácil contaminación con él.
- *Platino rodio - Platino (TIPO S).* El conductor positivo es una aleación de 90% de platino y 10% de Rodio mientras que el conductor negativo es un alambre de platino. Sus características son casi similares al termopar anterior con la diferencia que no puede usarse a temperaturas elevadas porque los metales no son de alta pureza produciendo alteraciones de la lectura a partir de los 1000 °C en adelante.
- *Molibdeno – Renio.* Fue desarrollado recientemente y se utiliza para temperaturas inferiores a los 1650 °C. Se recomienda usarlos en atmósferas inertes.

- *Tungsteno – Renio*. Al igual que el anterior fue recientemente creado y no tiene datos normalizados de temperatura y mili voltajes. Puede medir temperaturas de hasta 2000 °C, el oxígeno y los cambios bruscos de temperaturas destruyen al termopar. Funcionan perfectamente en atmósferas reductoras e inertes si se los protege con funda cerámica.

2.4.2.7 Código de colores para cables de extensión. Los estándares para este fin aún no han sido unificados, por lo que se debe guardar cuidado en la verificación del tipo de termopar que se está utilizando y dependiendo del origen de la termocupla deberá observarse el código de colores.

En la tabla 5 se detalla el código de colores que disponen las siguientes normas internacionales.

Tabla 5. Códigos de colores para cables de extensión.

Tipo	Denominación	Positivo	Negativo	Envoltura
NORMA AMERICANA ASTM				
B	Bx	Plomo	Rojo	Plomo
J	Jx	Blanco	Rojo	Negro
K	Kx	Amarillo	Rojo	Amarillo
R/S	Rx	Negro	Rojo	Verde
T	Tx	Azul	Rojo	Azul
NORMA BRITANICA BS 4937				
B	Bx	Plomo	Blanco	Plomo
J	Jx	Negro	Blanco	Negro
K	Kx	Verde	Blanco	Verde
R/S	Rx	Tomate	Blanco	Tomate
T	Tx	Café	Blanco	Café
NORMA FRANCESA DE LA NFE				
J	Jx	Amarillo	Negro	Negro
K	Kx	Amarillo	Café	Amarillo
R/S	Rx	Amarillo	Verde	Verde
T	Tx	Amarillo	Azul	Azul
NORMA ALEMANA DIN				
J	Jx	Rojo	Azul	Azul
K	Kx	Rojo	Verde	Verde
R/S	Rx	Rojo	Blanco	Blanco
T	Tx	Rojo	Café	Café

Fuente: Autores.

2.4.2.8 Tubos de protección. La mayoría de termopares, con excepción de pocos casos deben protegerse con envolturas de material cerámico y metálico que evitan su deterioro por golpes y contaminación con la atmósfera en la cual están operando. Las fundas metálicas vienen en tamaños normalizados y se acoplan al termopar mediante una unión roscada en el bloc de bornes, pudiendo ser fácilmente reemplazables (LÓPEZ, y otros, 2011).

2.5 Medidores de Caudal

En el monitoreo y control de los proceso y operaciones, y además en el análisis de ingeniería experimental es muy importante la medición de los caudales de líquidos y gases. Existen varios sistemas para medir el caudal según sea el tipo de caudal volumétrico o másico. Ver en la tabla 6 se detalla sistemas, elementos, y transmisor.

Tabla 6. Métodos de medición de flujo.

Medidores volumétricos		
Sistemas	Elemento	Transmisor
Presión Diferencial	Placa Orificio Tobera Tubo Venturi Tubo Pilot Tubo Annubar	Equilibrio de fuerzas Silicio fundido
Área Variable	Rotámetro	Equilibrio de movimiento Potenciométrico Puente de impedancias
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extensiométricas
Tensión inducida	Medidor magnético	Convertidor Potenciométrico
Desplazamiento Positivo	Disco giratorio Pistón Oscilante Pistón Alternativo Medidor Rotativo	Generador tacométrico o transductor de impulso
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador de ultrasonido	Transductor de resistencia
Medidores de caudal de masa		
Térmico	Diferencia de temperatura en dos sondas de resistencia	Puente de Wheatstone
Momento	Medidor axial Medidor axial de doble turbina	Convertidor de par
Par giroscopio	Tubo Giroscopio	Convertidor de par
Presión diferencial	Puente Hidráulico	Equilibrio de fuerzas

Fuente: Instrumentación industrial (CREUS, 1997).

2.5.1 Medidores volumétricos. Estos determinan el caudal del fluido sea directamente (desplazamiento) o indirectamente por inferencia (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida, torbellino).

2.5.1.1 Medidor de presión diferencial. El flujo se mide por la aplicación de la conservación mecánica a través de la conservación de la velocidad del fluido a presión (Teorema de Bernouilli) y el principio de la continuidad. Los elementos de presión diferencial son los siguientes:

- *La placa - orificio o diafragma.* Consiste en una placa perforada instalada en la tubería que tiene dos tomas en la parte posterior y anterior de la placa, estas captan la presión diferencial proporcional al cuadrado del caudal.
- *La tobera.* Está situada en la tubería con dos tomas, anterior y posterior en el centro de la sección más pequeña y permite caudales $>$ a 60% de la placa de orificio.
- *Tubo Pilot.* Mide la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea, la presión dinámica, la cual es proporcional al cuadrado de la velocidad.
- *Tubo Annubar.* Es una innovación del tubo Pilot y consta de dos tubos, el tubo que mide la presión total se encuentra a lo largo de un diámetro transversal de la tubería y el que mide la presión estática se encuentra detrás del de presión total, siendo este de mayor precisión que el tubo Pilot.

2.5.1.2 Medidor de velocidad. La variación de medidores de flujo por velocidad se fundamenta en medir la velocidad que lleva el fluido cuando pasa por un área constante.

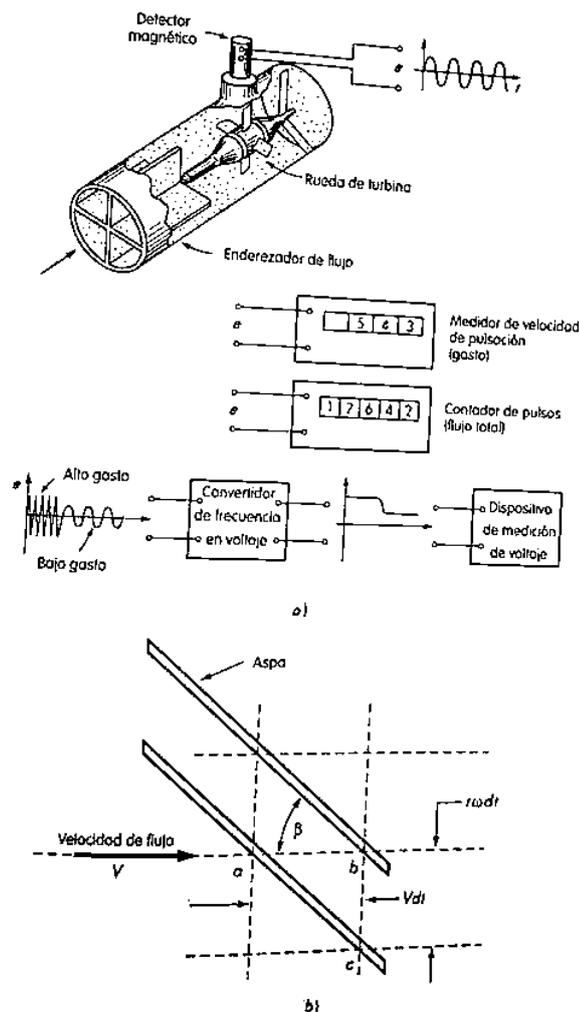
- *Vertederos y Venturi.* En la medición de caudal en canales abiertos se utilizan vertederos, estos provocan una diferencia de alturas de líquidos en el canal, que debe medirse en un punto aguas arriba y es conveniente utilizar un pozo de protección para el flotador del instrumento de medida.
- *Turbinas.* Los medidores de turbina consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad diferentemente proporcional al caudal. El fluido choca contra el borde frontal de las palas del rotor produciendo un área de baja presión y, como resultado de la presión diferencial, las palas giran. El rotor está equilibrado hidrodinámicamente y gira contra el cono posterior y posterior sin necesidad de rodamientos axiales (CREUS, 1997).

Existen dos tipos de convertidores para captar la velocidad de la turbina y son reluctancia e inductivo. La diferencia entre estos dos tipos es que el de reluctancia el imán permanente va montado en la bobina captadora exterior y el otro, el imán permanente está incorporado en el rotor.

Para ambos casos la frecuencia es proporcional al caudal siendo en el orden de 250 a 1200 ciclos por segundo para caudal máximo.

El modelo matemático más simple de este medidor supone un flujo unidimensional y un rotor que no detecta momentos de torsión retardantes, tales como fricción, viscosidad o efectos inerciales. Como el fluido no detecta nada continua su trayectoria recta original, se puede calcular la velocidad angular del rotor (DOEBELIN, 2005).

Figura 10. Medidor de flujo de Turbina.



Fuente: (DOEBELIN, 2005 pág. 571).

2.6 Medidor de Nivel.

El funcionamiento correcto de los procesos y el balance adecuado de materias primas o del producto final, en las industrias es muy importante y para ello se utiliza inteligentemente la medición de nivel con ayuda de un transmisor de nivel “inteligente” hace posible la interpretación del nivel real, la eliminación de las falsas alarmas, y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

La evolución tecnológica en el sector electrónico y las comunicaciones, ha propiciado la aparición de nuevos sistemas de medición de nivel para el control y gestión de inventarios en el sector industrial.

Los beneficios básicos que proporciona la instalación de un sistema de medición de nivel preciso y fiable son los siguientes:

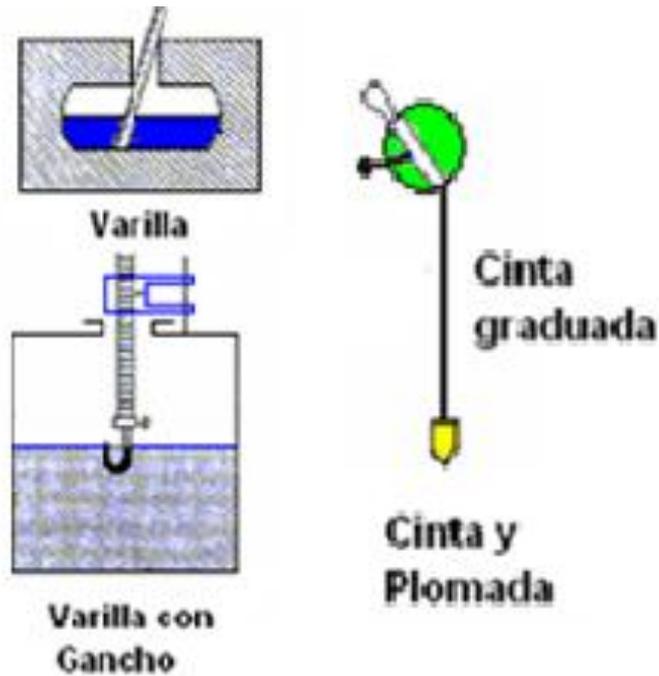
- Mejora en la Calidad del Producto.
- Reducción en los costos de operación y mantenimiento.
- Cumplimiento de Normativas medioambientales y de calidad.

2.6.1 Medición de nivel de líquidos. Estos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia o medición directa, presión hidrostática, desplazamiento producido por flotador, aprovechando características del líquido, o bien utilizando otros fenómenos. Como se mencionó anteriormente tenemos los diferentes métodos o formas de medición:

2.6.1.1 Medición Directa.

- *Medidor de Sonda.* Consiste en una varilla o regla graduada, de longitud conveniente para introducirla dentro del depósito. El nivel se determina por la lectura directa de la longitud mojada por el líquido. En el momento de la lectura el tanque debe estar abierto a presión atmosférica.
- *Medidor de Cinta y Plomada.* Consta de una cinta graduada y un plomo en la punta. Se emplea cuando es difícil que la varilla tenga acceso al fondo del tanque. También se usa midiendo la distancia desde la superficie del líquido hasta la parte superior del tanque (CREUS, 1997).

Figura 11. Medidor de sonda y cinta.

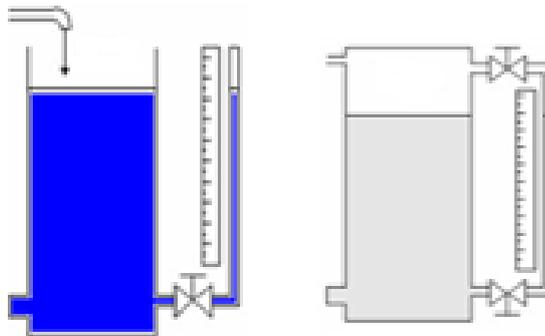


Fuente: Instrumentación industrial (DHAYZON, 2011).

- *Medidor de Nivel de Cristal.* Tubo de vidrio con su extremo inferior conectado al tanque generalmente mediante tres válvulas (dos de cierre de seguridad en los extremos del tubo, para impedir el escape del líquido en caso de rotura del cristal y una de purga). Funciona por el principio de vasos comunicantes.

El nivel de vidrio va acompañado de una regla graduada. Se emplea para presiones hasta 7 bar. A presiones más elevadas el vidrio es grueso, de sección rectangular y está protegido por una armadura metálica.

Figura 12. Medidor de nivel de cristal.



Fuente: Instrumentación industrial (DHAYZON, 2011).

- *Medidor de Flotador.* Consiste en un flotador ubicado en el seno del líquido y conectado al exterior del tanque, indicando directamente el nivel sobre una escala graduada. Es usado en tanques de capacidad grande. El flotador debe mantenerse limpio. El flotador, sigue el movimiento del nivel de líquido, en escala, y contrapeso. Tienen una precisión de 0,5 %. Son adecuados en la medida de niveles en tanques abiertos y cerrados a presión o a vacío.

El flotador puede trabarse en el tubo guía por los sólidos o cristales que el líquido pueda contener. Los tubos guía muy largos pueden dañarse ante olas bruscas en la superficie del líquido o ante la caída violenta del líquido en el tanque.

2.6.1.2 Medición por presión hidrostática o Fuerza.

- *Medidor Manométrico.* Es un manómetro conectado en la parte inferior del tanque y que mide la presión debida a la altura de líquido entre el nivel del tanque y el eje del instrumento. Sólo sirve para fluidos limpios, ya que los líquidos sucios pueden hacer perder la elasticidad del fuelle. La medición está limitada a tanques abiertos y el nivel viene influido por las variaciones de densidad del líquido.
- *Medidor de Membrana.* Usa una membrana conectada al instrumento receptor por un tubo estanco. El peso de la columna de líquido sobre el área de la membrana comprime el aire interno a una presión igual a la ejercida por la columna de líquido.
- *Medidor de Tipo burbujeo.* Mediante un regulador de caudal se hace pasar por un tubo (sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo), un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas. La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido.
- *Medidor de Presión diferencial de diafragma.* Consiste en un diafragma en contacto con el líquido del tanque, que permite medir la presión hidrostática en un punto del fondo. En un tanque abierto, esta presión es proporcional a la altura del líquido en ese punto y a su peso específico. El diafragma forma parte de un transmisor neumático o electrónico de presión diferencial.

La precisión de los instrumentos de presión diferencial es bastante buena. El material del diafragma debe ser compatible con el fluido que se encuentra en el tanque (DHAYZON, 2011).

- *Medidor por Desplazamiento.* Está basado en el Principio de Arquímedes. Consiste en un flotador parcialmente sumergido en el líquido y conectado mediante un brazo a un tubo de torsión, unido al tanque. Dentro del tubo y unido a su extremo libre hay una varilla que transmite el movimiento de giro a un transmisor exterior al tanque. El ángulo de rotación del extremo libre del tubo de torsión es función directa de la fuerza aplicada. Al subir el nivel, el líquido ejerce un empuje sobre el flotador igual al volumen de la parte sumergida multiplicada por la densidad del líquido, tendiendo a neutralizar su peso propio, así que el esfuerzo medido por el tubo de torsión será muy pequeño. Puede usarse en tanques abiertos y cerrados, a presión o a vacío, con una buena sensibilidad, pero presenta el inconveniente del riesgo de depósitos de sólidos o de crecimiento de cristales en el flotador que afectan a la precisión de la medida).

2.6.1.3 *Medición por características eléctricas del líquido.*

- *Medidor Conductivo.* Consiste en uno o varios electrodos y un relé eléctrico o electrónico que es excitado cuando el líquido moja a dichos electrodos. El relé electrónico dispone de un temporizador de retardo que impide su enclavamiento ante una ola del nivel del líquido o ante cualquier perturbación momentánea o bien en su lugar se disponen dos electrodos poco separados enclavados eléctricamente en el circuito. Se usa como alarma o control de nivel alto y bajo, utiliza relés eléctricos o electrónicos, en función de la conductividad del líquido. Es versátil, sin partes móviles, su campo de medida es grande, con la limitación física de la longitud de los electrodos. El líquido contenido en el tanque debe tener un mínimo de conductividad.
- *Medidor Capacitivo.* Mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido. En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores.
En fluidos conductores el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas. También se usan como interruptores de nivel.

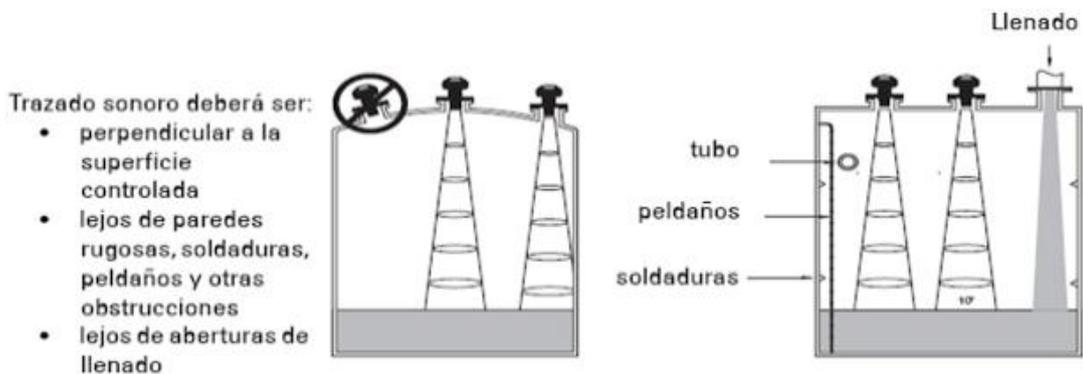
- *Medidor por Radiación.* Consiste en un emisor de rayos gamma montado verticalmente en un lado del estanque y con un contador que transforma la radiación gamma recibida en una señal eléctrica de corriente continua.

Como la transmisión de los rayos es inversamente proporcional a la masa del líquido en el estanque, la radiación captada por el receptor es inversamente proporcional al nivel del líquido ya que el material absorbe parte de la energía emitida.

- *Medidor Ultrasónico.* Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del estanque o depósito.

El tiempo entre emisión y recepción es inversamente proporcional al nivel, el tiempo depende de la $T^\circ \implies$ compensar medidas, evitar obstáculos en el recorrido de las ondas, sensibles al estado de la superficie del líquido (espumas) (CREUS, 1997).

Figura 13. Medidores de ultrasonido.



Fuente: Instrumentación industrial (DHAYZON, 2011).

CAPÍTULO III

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y ACCESORIOS

Para la construcción del sistema de medición y control de las variables de presión, temperatura, caudal y nivel de un fluido los equipos, instrumentos y accesorios, que se utilizaron, se detallan a continuación.

3.1 Equipos

Es el conjunto de activos fijos, como estructuras, bombas, pantallas, electroválvulas, y bancos de relés, que se utilizaron para el funcionamiento del módulo de control.

3.1.1 Estructura mixta. Estructura formada de material metálico y madera donde se asentarán todos los instrumentos y accesorios, en el cual podemos apreciar en la figura 14.

Figura 14. Estructura mixta para el módulo.



Fuente: Autores.

En la tabla 7. Se detalla los materiales que se utilizaron en la construcción de la estructura mixta del módulo.

Tabla 7. Materiales que se utilizaron en la construcción.

Estructura mixta del módulo		
Material	Medidas y detalles	Descripción
Tubo cuadrado	Medida 1 ¹ / ₄ por 2 mm	Este tubo fue cortado en diferentes dimensiones para la unión por medio del método de soldadura por arco eléctrico y es toda la parte metálica de la estructura.
Tablas	8 Tablas de guayacán de 3 por 0.25 m.	Con las tablas se realizaron cortes de 85 cm, 45 cm y 150 cm de y se las unió para formar unos cuadrados para asentar en las divisiones de la estructura y es allí donde van asentados los depósitos del líquido.
Electrodos y soldadora eléctrica	Electrodos 6011 y 6013 Tensión 3 Hp x 230/400 V-50/60Hz,	La soldadora fue la principal herramienta para la construcción de la estructura ya que por medio de esta se realiza los cordones de soldadura. Además se utilizaron electrodos 6011 para para puntear las uniones de la estructura y con el electrodo 6013 se realizó los cordones de soldadura este último proceso se realiza para un acabado superficial para tener una mejor estética del cordón.
Amoladora y Disco de corte	Potencia 2.000 W, 6.600 Rpm, 230 mm de diámetro	La amoladora con un disco de corte para acero se realizó los cortes del tubo cuadrado con las dimensiones ya antes mencionadas.
Taladro y broca	Taladro de 700 watts y la broca de 7/16"	El taladro con la broca se utilizó para perforar tanto la parte metálica como las tablas de madera para poder asegurar las tablas a la estructura.
Pernos	De ½" * 2	Estos pernos de sujeción se colocaron dos por trozo de madera y así mantener nivelado y estable los asientos de la estructura.
Pinturas	Color negro y color madera	La pintura negra anticorrosiva se utilizó para la parte metálica de la estructura, para evitar la corrosión. La pintura color madera se utilizó con aditivo para protección de humedad por el líquido que se va a trabajar en el módulo.

Fuente: Autores.

3.1.2 Bombas centrífugas. Consiste de una coraza, un motor eléctrico que ayuda a girar al impulsor que realiza una succión y descarga. Y para el módulo se utiliza bombas centrífugas que en la figura 15 se observa.

Figura 15. Bomba tekno de 1/2 hp.



Fuente: Autores.

En la tabla 8 se detalla las características técnicas de las tres bombas utilizadas en el módulo.

Tabla 8. Características técnicas de la bomba.

Características técnicas			
Marca	TEKNO	Intensidad nominal	2.1 A
Origen	CHINA	Altura máxima	38 m
Modelo	Q-B 60	Caudal máxima	40 L/min
Voltaje de trabajo	110 V	Frecuencia	60 Hz
Potencia	0.5 HP	Temperatura de trabajo	40 °C

Fuente: Autores.

3.1.3 Electroválvula. Una válvula solenoide también es conocida como una electroválvula, esta está diseñada para controlar el paso de un fluido determinado por un conducto o tubería, el mecanismo de la válvula se hace efectivo gracias a una bobina solenoide que se encuentra internamente en la coraza de la electroválvula.

Figura 16. Electroválvula de 1/2 pulgada.



Fuente: Autores.

3.1.3.1 Funcionamiento. En la mayoría de las veces este tipo de válvulas está basada en dos posiciones abierto/cerrado, o pasa/no pasa. Este gran dispositivo es utilizado en las empresas de químicos que necesitan cerrar/abrir constantemente tuberías. Las electroválvulas no deben confundirse con las válvulas motorizadas, porque estas permiten otras posiciones intermedio como medio cerrado o medio abierto, pero en este caso las electroválvulas cumplen la acción de cerrar o abrir.

3.1.3.2 Características. Electroválvula normalmente abierta con rosca estándar de 1/2", se puede realizar el control de fluidos de baja viscosidad. Se puede encontrar en todas partes en aplicaciones como grifos automáticos, grifos de pedal, bebederos, etc.

- Normalmente abierto.
- Duradero.
- Filtro de entrada de acero inoxidable.
- Amplio rango de temperatura de funcionamiento.

3.1.3.3 Especificaciones.

- Voltaje de funcionamiento: 12VDC.
- Corriente máxima: 450 mA.
- Normalmente abierto: el modo de funcionamiento.
- Puertos de entrada / salida: G1/2".
- Materiales: nylon / acero inoxidable / Polioximetileno.
- Tipo de Válvula: válvula de diafragma (operado por servo).
- Pantalla de filtro: filtro de entrada de acero inoxidable.
- Temperatura máxima: 120°C.
- Rango de presión de funcionamiento: 0,02 a 0,8 Mpa.

3.1.4 Pantalla LCD UTFT TOUCH. Este módulo LCD UTFT de 2.8 "puede ser puede ser fácilmente controlado por microcontroladores como PIC, ARDUINO, y ARM. Puede ser utilizado en cualquier sistema integrado que requiera una imagen colorida en una pantalla de alta calidad.

Figura 17. Pantalla LCD UTFT TOUCH.



Fuente: Autores.

Esta pantalla LCD tiene una calidad de visualización superior, además tiene una ranura SD. Los pines son compatible con UTFT Shield para Arduino Mega 2560.

3.1.4.1 Características.

- 262K color.
- Resolución: 240 * 320.
- 2,8 pulgadas.
- Amplio ángulo de visión.

3.1.5 Banco de relay. Modulo relevador 8 canales (relés) para conmutación de cargas de potencia.

Figura 18. Banco de relay.



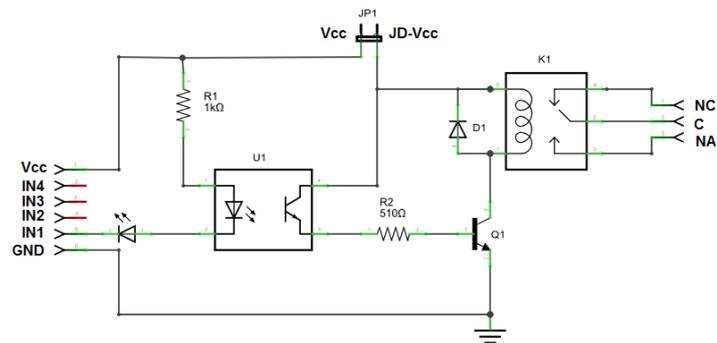
Fuente: Autores.

Los contactos de los relevadores están diseñados para conmutar cargas de hasta 10 A y 250VAC (30VDC), aunque recomendamos dejar un margen hacia abajo de estos límites. Las entradas de control se encuentran aisladas con opto acopladores para minimizar el

ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como un microcontrolador.

3.1.5.1 Circuito Esquemático. En la figura 19 se puede apreciar el circuito esquemático de un canal, el resto de los canales se repite la misma configuración.

Figura 19. Diagrama de una canal del banco de relay.



Fuente: Autores.

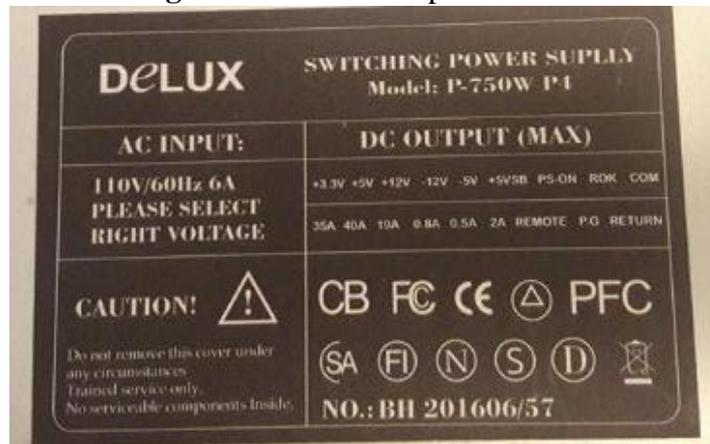
3.1.5.2 Especificaciones.

- 8 canales independientes protegidos con opto acopladores.
- 8 Relevadores (Relay) de 1 polo 2 tiros.
- El voltaje de la bobina del relé es de 5 VDC.
- Led indicador para cada canal (enciende cuando la bobina del relé esta activa).
- Activado mediante corriente: el circuito de control debe proveer una corriente de 15 a 20 mA.
- Puede ser controlado directamente por circuitos lógicos.
- Terminales de conexión de tornillo (clemas).
- Terminales de entrada de señal lógica con headers macho de 0.1".

3.1.6 Fuente de poder. Este equipo se utiliza básicamente para transformar la corriente alterna de la línea eléctrica del tomacorriente, en corriente directa; la cuál es utilizada por los elementos electrónicos y eléctricos del módulo que cuenta con tarjetas electrónicas de control que trabajan con un menor voltaje. Otras funciones, son las de suministrar la cantidad de corriente y voltaje que los dispositivos requieren, así como protegerlos de

problemas en el suministro eléctrico como subidas de voltaje. Se le puede llamar fuente de poder AT, fuente de alimentación AT, fuente analógica, fuente de encendido mecánico, entre otros nombres.

Figura 20. Fuente de poder Delux.



Fuente: Autores.

Esta fuente es de vital importancia en el funcionamiento de todo el circuito eléctrico y electrónico, por tener diferentes salidas de voltajes de (5V, 12V) los más importantes para el funcionamiento de las tarjetas arduino y de toda la placa eléctrica e incluso se utiliza los 120 V CA, para el encendido de las niquelinas.

3.1.6.1 Características generales de la fuente. Para su encendido y apagado, cuenta con un interruptor mecánico además también:

- Algunos modelos integraban un conector hembra de tres terminales para suministrar adicionalmente al monitor CRT.
- Es una fuente ahorradora de electricidad, ya que no se queda en modo "Stand by" ó en estado de espera; esto porque al oprimir el interruptor se corta totalmente el suministro.
- Es una fuente segura, ya que al oprimir el botón de encendido se interrumpe la electricidad dentro de los circuitos, evitando problemas de cortos al manipular su interior.

- Si el usuario manipula directamente el interruptor en su parte interna para realizar alguna modificación, corre el riesgo de choque eléctrico al estar conectada, ya que esa pieza trabaja directamente con la electricidad de la red eléctrica.

3.1.7 Ventilador. Es el equipo encargado de ayudar a refrigerar el agua del depósito C del sistema de fluido. Su funcionamiento comienza al instante de encender todo el sistema y todo el tiempo se mantiene encendido, además con ayuda de una relay del banco de relay que al igual que el ventilador, funciona con 12 V de CD. También consta de tres aletas plásticas con un diámetro de 15 cm.

Figura 21. Mini Ventilador.



Fuente: Autores.

3.1.8 Resistencia Cerámica (Niquelinas). En el módulo el propósito principal de las niquelinas es la de calentar el agua del depósito. A los diferentes valores de temperatura que se desee hacer el control del sistema de fluido.

Figura 22. Niquelinas.



Fuente: Autores.

Se acciona con ayuda del contactor estas se encienden cuando haya ingresado agua al depósito, hasta una medida de 18 litros de agua y estas resistencias se denominan niquelinas por ser un alambre de níquel que en un extremo ingresan 110 V y como va conectado en serie estas se calientan por que se oponen al paso de corriente y por tal motivo esta resistencia están envuelta en un núcleo de cerámica ya que el elemento cerámico es un disipador de calor.

3.1.9 Contactor. Es un contactor de bajo consumo y son muy fáciles de controlar sin interfaces a través de las salidas estáticas de los autómatas programables. Este dispositivo trabajo con 110 V y se le utilizo para el encendido de las niquelinas y se pudo controlar con la tarjeta arduino por medio de un relay de 12 V.

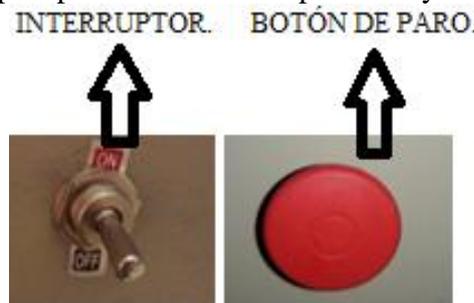
Figura 23. Contactor Siemens.



Fuente: Autores.

3.1.10 Interruptor de encendido y paro de emergencia. En el módulo una parte del control tenemos un botón de paro general en caso de emergencia por motivos de seguridad. Además posee un interruptor para el encendido de las pantallas e iniciar con el control del sistema.

Figura 24. Interruptor para encendido de pantallas y botón de paro general.



Fuente: Autores.

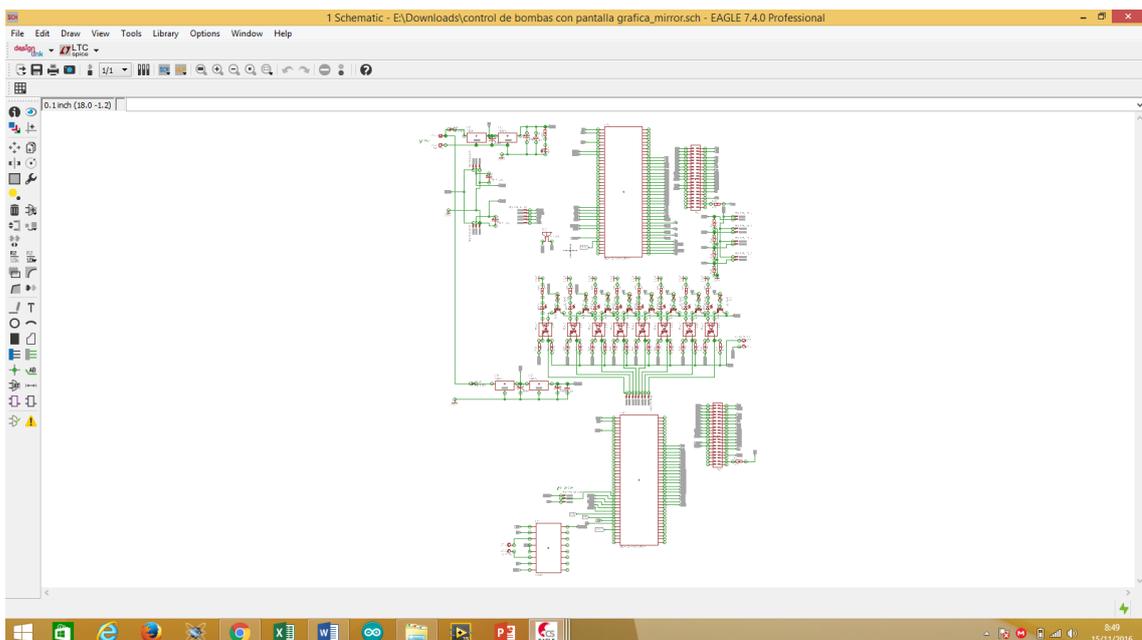
3.2 Instrumentos

Son los controladores y su respectivo software de programación, circuitos de electrónica de potencia y su software de simulación para la placa de circuito electrónico, sensores, elementos de entrada y salida de datos, que se utilizaron para el control y medición de las variables mencionadas anteriormente.

3.2.1 Eagle. Es un programa de diseño de diagramas y PCBs con autoenrutador. Famoso alrededor del mundo de los proyectos electrónicos DiY, debido a que muchas versiones de este programa tienen una licencia Freeware y gran cantidad de bibliotecas de componentes alrededor de la red. Debido a la gran variedad de componentes y dispositivos que tiene este programa. Hace más fácil la construcción de diagramas electrónicos.

En la fig. 25 se puede apreciar una ventana de se trabaja el EAGLE, como todo programa tiene barra de herramientas, barra de menú, una hoja de trabajo y una variedad de librerías de elementos que se utiliza en la electrónica.

Figura 25. Ventana de trabajo de Eagle.



Fuente: Autores.

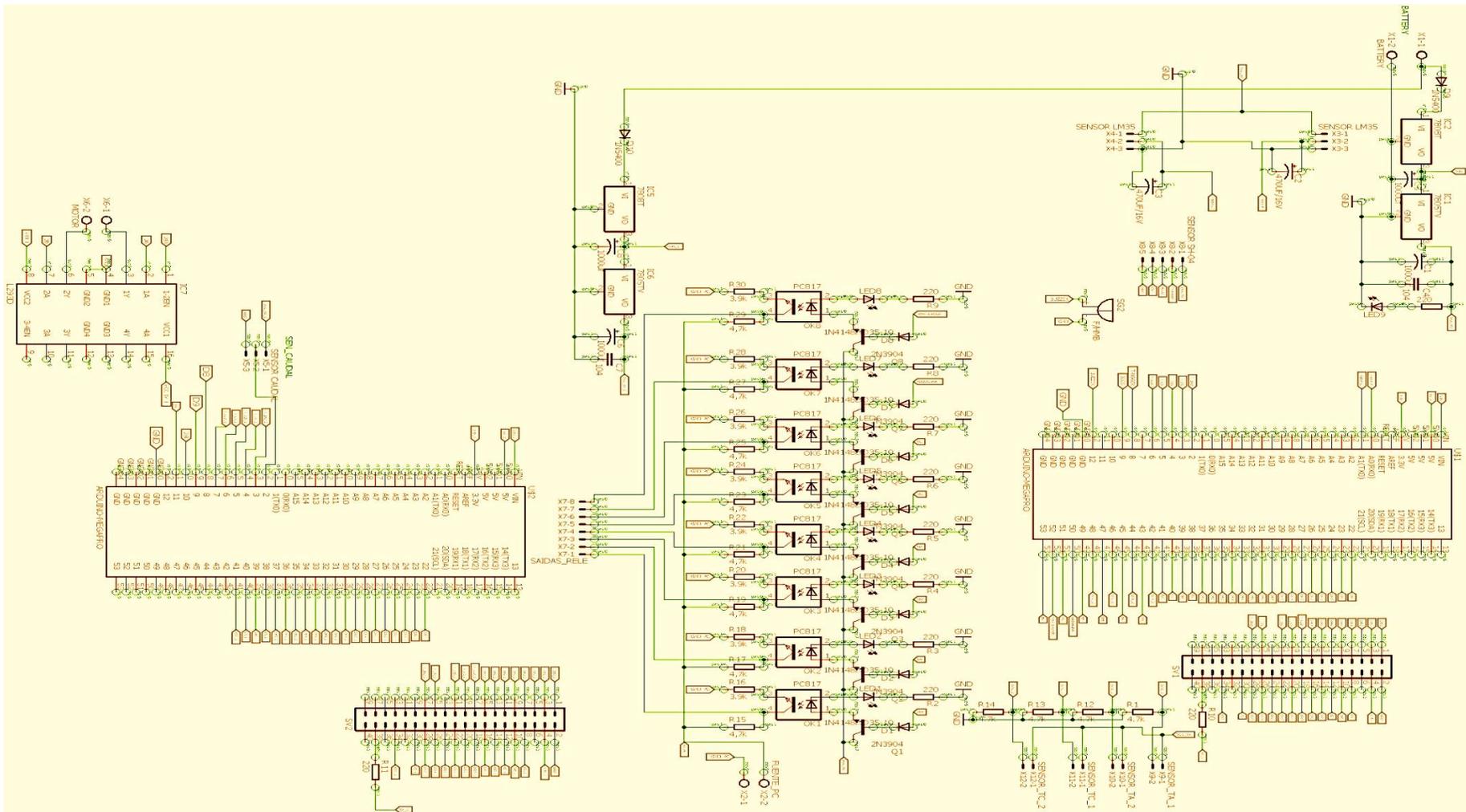
3.2.2 Placa electrónica de control. Esta placa consiste en un circuito electrónico donde en la tabla 9. Se detalla los elementos utilizados.

Tabla 9. Detalle de los elementos que forman parte de la placa electrónica.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN	IMAGEN
Borneras.	Son elementos que sirve para conectar la alimentación de energía o dispositivos que se requieran accionar.	
Moles.	Son conectores que se utiliza para trasladar una señal ya sea digital o lógica.	
Espadines.	Sirven como base para asentar algún elemento que tenga conexión con espadines en nuestro caso para asentar la tarjeta arduino.	
Diodos.	Se utilizó tres tipos de diodos como: diodos rectificadores, diodos led y diodos schottky.	
Resistencias.	Se utilizó tres tipos de resistencias de 220ohm, 4.7kohm, y de 3.9 kohm. Las mismas de acuerdo a su capacidad impiden el paso de corriente.	
Opto acopladores PC 817.	De acuerdo con su función este dispositivo es un circuito integrado que sirven para aislar y separar grandes voltajes y amperajes.	
Regulador de Voltaje 7805.	Sirven para trabajar voltajes altos a reducirlos a voltajes bajos de trabajo como de 24V a 5V ya que las tarjetas arduino operan con 5 VCC.	
Transistor 2N3904.	Este transistor 2N3904 sirve como amplificador y conmutador de señales para el circuito electrónico que se utilizó.	
Capacitores o Condensadores.	Estos dispositivos son muy utilizados en el diseño de circuitos electrónicos debido a su función que es la de cargar y descarga de electrones además trabajan a grandes voltajes.	
Cables BUS de datos.	Estos cables se utilizó en para llevar los datos de la tarjeta arduino a las pantallas UTFT. Donde se visualizan todos los datos adquiridos por los sensores de medida.	
Buzzers pito de alarma.	Se utilizó como alarma para cuando los niveles de agua estén por debajo de nivel y da un aviso de que no existe fluido en el sistema.	

Fuente: Autores.

Figura 26. Diagrama electrónico de la placa de control hecho en Eagle.



Fuente: Autores.

3.2.3 Controlador arduino. Es una plataforma de prototipos, de código abierto basada en hardware y software flexible y fácil de usar.

Además es una herramienta que hace que los ordenadores puedan controlar el mundo físico a través de un ordenador personal y con ayuda de un microcontrolador, leyendo datos de una gran variedad de interruptores y sensores controlar multitud de tipos de luces, motores y otros actuadores físicos (Arduino, 2016).

Hay que tomar en cuenta que la placa original y una de las primeras en ser utilizadas es la tarjeta Arduino Uno de esta se derivan algunas variantes y entre los más conocidos tenemos las siguientes:

Arduino Galileo, Arduino Leonardo, Arduino Due, Arduino Yún, Arduino Zero, Arduino Micro, Arduino Mega ADK, Arduino Mega 2560, Arduino Mini, Arduino Nano.

Para nuestro control se utiliza un placa arduino Mega 2560 es una versión de arduino de las muchas variantes existentes actualmente.

3.2.4 Arduino mega 2560. Es una placa electrónica basada en el Atmega 2560 . Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de 1.6MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio.

Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o la corriente con un adaptador de CA a CC o una batería para empezar.

El tablero de 2560 mega es compatible con la mayoría de los shield para el Arduino Uno. La Mega 2560 es una actualización de la Arduino Mega y a continuación se observa en la tabla 10 donde se detalla sus especificaciones técnicas de trabajo (ARDUINO, 2014).

Tabla 10. Especificaciones técnicas de Arduino Mega 2560.

Microcontrolador	Atmega2560	Memoria flash	256 KB, 8 KB utilizado por el gestor de arranque	Pines de entrada analógica	dieciséis
Tensión de funcionamiento	5V	SRAM	8 KB	Corriente continua para Pin I/O	20 mA
Voltaje de entrada (recomendado)	7-12V	EEPROM	4 KB	Corriente CC para Pin 3.3V	50 mA
Voltaje de entrada (límite)	6-20V	Peso	37 g	Longitud	101.52 mm
E/S digitales prendedores	54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM)	Velocidad de reloj	16 MHz	Anchura	53,3 mm

Fuente: (ARDUINO, 2014).

3.2.4.1 Advertencias. El 2560 mega tiene un polyfuse reajutable que protege a los puertos USB de su ordenador desde posibles cortos y sobrecorriente.

Aunque la mayoría de las computadoras pueden establecer su propia protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si hay más de 500 mA se aplica al puerto USB, el fusible se romperá automáticamente la conexión hasta que la corta o se elimina la sobrecarga.

3.2.4.2 Poder. El Mega 2560 puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente. Potencia (no USB) externo puede venir con un adaptador de CA a CC (pared-verruga) o una batería.

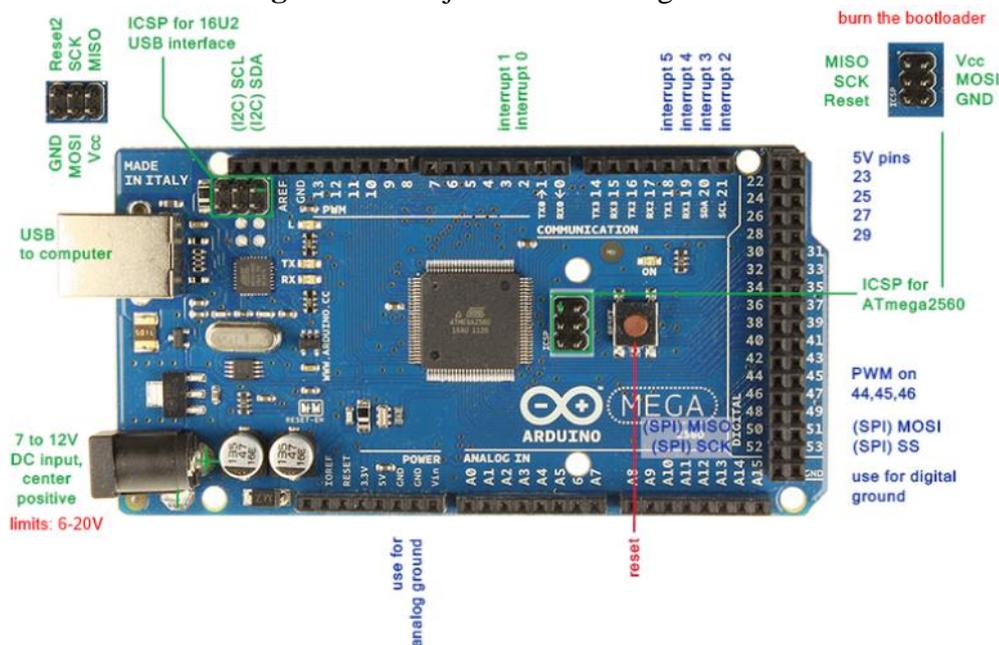
El adaptador se puede conectar con un enchufe de 2,1 mm de centro-positivo en la clavija de alimentación de la placa. Los cables desde una batería pueden ser insertados en los GND y el pin Vin cabeceras del conector de alimentación.

La tarjeta puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si se suministra con menos de 7V, sin embargo, el pasador de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la placa se puede volver inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios.

Los pines de alimentación son como sigue:

- *Vin*. El voltaje de entrada al tablero cuando se trata de utilizar una fuente de alimentación externa (en contraposición a 5 voltios de la conexión USB o de otra fuente de alimentación regulada). Se puede suministrar tensión a través de este pin, o, si el suministro de tensión a través de la toma de alimentación, acceder a él a través de este pin.
- *5V*. Este pin como salida una 5V regulada del regulador en el tablero. El tablero puede ser alimentado ya sea desde el conector de alimentación de CC (7 - 12 V), el conector USB (5V), o por el pin VIN del tablero (7-12V). El suministro de tensión a través de los pasadores de 5V o 3.3V no pasa por el regulador, y puede dañar la placa. No aconsejamos ella.
- *3V3*. Un suministro de 3,3 voltios generada por el regulador a bordo. Consumo de corriente máximo es de 50 mA.
- *GND*. Las patillas de tierra.
- *Instrucción IOREF*. Este pin en el tablero proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador. Un escudo bien configurado puede leer el voltaje del pin instrucción IOREF y seleccione la fuente de alimentación adecuada o habilitar traductores de voltaje en las salidas para trabajar con el 5V o 3.3V.

Figura 27. Tarjeta Arduino Mega 2560.



Fuente: (Arduino, 2012).

3.2.4.3 Memoria. El Atmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar el código (de la que se utiliza 8 KB para el cargador de arranque), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM (que puede ser leído y escrito con la biblioteca EEPROM).

3.2.4.4 Entrada y salida. Cada uno de los 54 pines digitales en la Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando `pinMode ()` , `digitalWrite ()` , y `digitalRead ()` funciones. Operan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir 20 mA como condición de funcionamiento recomendada y tiene una resistencia de pull-up (desconectada por defecto) de 20-50 k ohmios. Un máximo de 40 mA es el valor que no debe superarse para evitar daños permanentes en el microcontrolador.

Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- *De Serie:* 0 (RX) y 1 (TX); De serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL. Pines 0 y 1 también están conectados a los pasadores correspondientes del chip de serie ATmega16U2 USB-a-TTL.
- *Las interrupciones externas:* 2 (0 interrumpir), 3 (interrumpir 1), 18 (interrumpir 5), 19 (interrumpir 4), 20 (interrumpir 3), y 21 (interrumpir 2). Estos pasadores pueden configurarse para activar una interrupción en un nivel bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el nivel. Ver el `attachInterrupt ()` la función para más detalles.
- *PWM:* 2 a 13 y 44 a 46. Proporcionar una salida de PWM de 8 bits con el `analogWrite ()` función.
- *SPI:* 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Estos pines soportan la comunicación SPI utilizando la librería SPI .
Los pines SPI también se desglosan en la cabecera ICSP, que es físicamente compatible con el Arduino / Genuino Uno y las viejas tablas de Duemilanove y Diecimila Arduino.
- *LED:* 13. Hay un LED incorporado conectado al pin digital 13. Cuando el pasador es ALTO, el LED está encendido, cuando el pasador es bajo, es apagado.
- *TWI:* 20 (SDA) y 21 (SCL). TWI apoyo a la comunicación con la librería Wire.

Hay que tener en cuenta que estos pines no están en la misma ubicación que los pines TWI sobre las viejas tablas de Duemilanove o Diecimila Arduino.

El Mega 2560 tiene 16 entradas analógicas, cada uno de los cuales proporcionan 10 bits de resolución (es decir, 1024 valores diferentes). Por defecto se miden desde el suelo a 5 voltios, aunque es posible cambiar el extremo superior de su rango usando el pin AREF y `analogReference ()` . Función.

Hay un par de patas de la placa:

- *AREF*. Voltaje de referencia para las entradas analógicas. Se utiliza con `analogReference ()`.
- *Reiniciar*. Llevar esta línea baja para reiniciar el microcontrolador. Normalmente se utiliza para añadir un botón de reinicio para escudos que bloquean la una en la mesa.

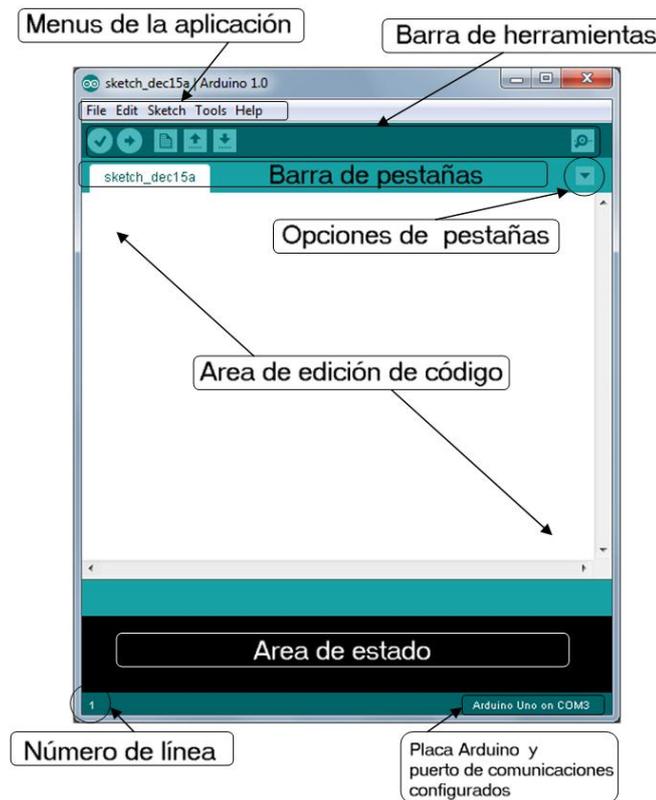
3.2.4.5 Comunicación. La placa mega 2560 tiene una serie de instalaciones para la comunicación con un ordenador, otros microcontroladores. El Atmega2560 ofrece cuatro UART hardware para TTL (5V) de comunicación en serie.

Un Atmega 2560, la revisión de los canales bordo de uno de ellos a través de USB y proporciona un puerto com virtual para el software en el equipo (máquinas de Windows necesitará un archivo .inf, pero las máquinas OSX y Linux reconocer la junta como un puerto COM automáticamente.

El software de Arduino (IDE) incluye un monitor de serie que permite a los datos de texto simples para ser enviados hacia y desde el tablero. Una biblioteca `SoftwareSerial` permite la comunicación en serie en cualquiera de los pines digitales del Mega 2560.

3.2.5 Software de programación de arduino versión 1.6.9. Es una plataforma donde se utiliza un lenguaje de programación C++, para la ejecución de las diversas funciones que se desee que la placa Arduino Mega 2560 la misma plataforma de programación se utiliza para las diversas placas arduino que existen.

Figura 28. Ventana de programación de Arduino.



Fuente: (FERNANDEZ, 2012).

3.3 Sensores

Son dispositivos diseñados para detectar magnitudes físicas o químicas, y transformarlas en otra magnitud normalmente eléctrica. Los sensores utilizados para el control del proceso son compatibles con la programación del controlador Arduino Mega 2560 y estos se detallan a continuación.

3.3.1 Easypress. El controlador automático activa la puesta en marcha y parada automática de la bomba de agua cuando se abre o cierra algún punto de suministro o válvula del sistema.

El controlador puede mantener en el sistema, tanto una presión constante, como un caudal, tanto tiempo como cualquier punto del suministro se abra en el sistema durante el funcionamiento de la bomba.

3.3.1.1 Características constructivas.

- Entrada macho 1”.
- Salida macho 1”.
- Válvula especial de retención para evitar retornos de fluido.
- Sistema de seguridad que evita la posibilidad de que la maquina trabaje sin agua.
- Manómetro.
- Interruptor de arranque manual (RESET).
- LED de tensión (POWER).
- LED de funcionamiento de la bomba (ON).
- LED de sistema de seguridad (FAILURE).

Figura 29. EASYPRESS (presión).



Fuente: Autores.

3.3.1.2 Especificaciones.

Tabla 11. Especificaciones técnicas del Easypress.

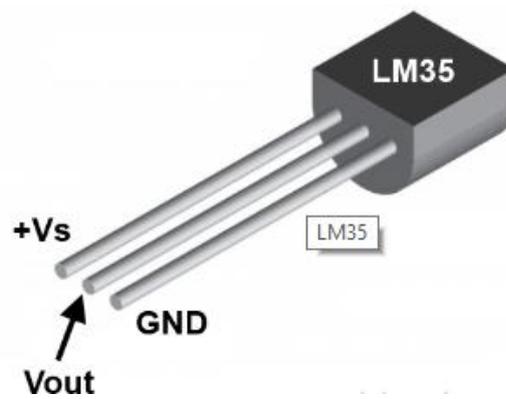
Tensión de alimentación monofásica	220/240v
Intensidad máxima	10(6)A
Frecuencia	50/60Hz
Índice de protección	IP65
Temperatura de trabajo	0-60 ⁰ C
Presión inicial	1.5 bar
Presión máxima de trabajo	10 bar

Fuente: Autores.

3.3.1.3 Conexión hidráulica. Antes de proceder con la conexión hidráulica, es esencial cebar la bomba correctamente. El controlador debería estar instalado siempre en posición vertical, conectado la entrada (macho 1") a la red. Evitar en la salida válvulas de retención.

3.3.2 Sensor de temperatura LM35. Es un sensor de circuito integrado con una salida lineal proporcional a la escala Celsius. Tiene un alcance de -55 °C a +150 °C y una exactitud aproximada de 0.25 °C.

Figura 30. Sensor de temperatura LM35 (temperatura).



Fuente: (Arduinoecia, 2013)

3.3.2.1 Especificaciones.

- Rango de medida: -55 °C a +150 °C.
- Función de transferencia: 10.0mV/°C.
- Voltaje de alimentación: 4 a 30 VDC.
- Consumo de corriente: 60uA.
- Auto calentamiento: menor a 0.08 en espacios sin flujo de aire.
- Resolución: $\pm \frac{1}{4}$ °C.

3.3.2.2 Cálculo matemático de la temperatura. Para realizar el cálculo se utilizó la fórmula obtenida en la plataforma de Arduino:

$$Temp \text{ } ^\circ C = \frac{f.e.m \text{ del sensor} * 5 * 100}{1023} \quad (1)$$

Con ayuda de un multímetro medimos los milivoltios que arroja el sensor y se realizó un ejemplo de la operación matemática.

$$Temp^{\circ}C = \frac{f.e.m * 5 * 100}{1023}$$

$$Temp^{\circ}C = \frac{45mV * 5 * 100}{1023}$$

$$Temp^{\circ}C = \frac{22500}{1023}$$

$$Temp^{\circ}C = 21.99^{\circ}C$$

3.3.3 Sensor de flujo de agua (Caudalímetro). Los sensores de flujo YF-S201, es muy usado en varias aplicaciones, puesto que el flujo o caudal es parámetro necesario en varios procesos, a nivel doméstico lo podemos usar para medir el consumo de agua.

Figura 31. Sensor de flujo YF-S201 (Caudalímetro).



Fuente: Autores.

El sensor internamente tiene un rotor cuyas paletas tiene un imán, la cámara en donde se encuentra el rotor es totalmente aislado evitando fugas de agua, externamente a la cámara tiene un sensor de efecto hall que detecta el campo magnético del imán de las paletas y con esto el movimiento del rotor, el sensor de efecto hall envía los pulsos por uno de los cables del sensor, los pulsos deberán ser convertidos posteriormente a flujo pero esto ya es tarea del Arduino o controlador que se desee usar. Este modelo tiene tres cables para su conexión, rojo y negro para la alimentación y amarillo para la salida de los pulsos.

La salida de pulsos es una onda cuadrada cuya frecuencia es proporcional al caudal. El factor de conversión de frecuencia (Hz) a caudal (L/min) varía entre modelos y depende

de la presión, densidad e incluso del mismo caudal. Para el caso del sensor de ½” el factor de conversión promedio proporcionado por el fabricante es:

$$f \text{ (Hz)} = 7.5 \times Q \text{ (L/min)}.$$

Llamaremos nosotros K al factor de conversión, siendo K=7.5 para el sensor de ½”, trabajar con dichos valores no nos garantiza precisión, pero nos pueden servir para aplicaciones simples, si necesitamos mayor exactitud necesitamos calibrar y calcular dicho factor. De aquella formula proporcionada por el fabricante teniendo valores promedio de los pulsos que es igual a 450 pulsos/min.

3.3.3.1 Calibrando nuestro sensor de flujo. Para tener una medición más exacta es necesario calcular el valor del factor de conversión que es el que nos sirve para pasar de Frecuencia de pulsos a caudal de agua

La variable que podemos medir con exactitud es la cantidad de pulsos (usando el Arduino), y con ayuda de un recipiente con graduación podemos medir la cantidad o volumen de agua. Estas dos variables podemos medirlas con exactitud, para calcular el factor de conversión con estas dos variables podemos usar la siguiente formula:

$$K = \frac{n^\circ \text{ Pulsos}}{\text{Volumen} * 60} \quad (3)$$

$$\text{Volumen} = \frac{n^\circ \text{ Pulsos}}{K * 60}$$

$$\text{Volumen} = \frac{450}{7.5 * 60}$$

$$\text{Volumen} = 1L$$

Donde K es el factor de conversión, n° Pulsos son la cantidad de pulsos medidos con el sensor correspondientes al volumen que pasa por el sensor, dicho volumen debemos medirlo con ayuda de recipientes con graduación.

3.3.3.2 Características.

- Compacto, fácil de instalar.

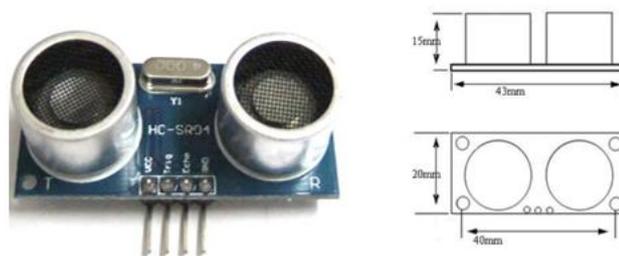
- Enroscado hermético.
- Sensor de efecto Hall de alta calidad.
- Cumple con la norma RoHS.

3.3.3.3 Especificaciones.

- Voltaje de funcionamiento: 5V-24V.
- Corriente máxima: 15 mA (DC 5V).
- Peso: 43 g.
- Rango de caudal: 1 ~ 30 L / min.
- Temperatura de funcionamiento: 0 °C ~ 80 °C.
- Temperatura del líquido: <120 °C.
- Humedad de funcionamiento: 35% ~ 90% RH.
- Presión de trabajo bajo: 1.75Mpa.
- Temperatura: -25 °C ~ +80 °C.
- Humedad: 25% ~ 90% RH.

3.3.4 Sensor Ultrasónico HC-SR04. Es un módulo que incorpora un par de transductores de ultrasonido que se utilizan de manera conjunta para determinar la distancia del sensor con un objeto colocado enfrente de este. Afortunadamente el módulo HC-SR04 es bastante fácil de utilizar a pesar de su bajo precio y no demanda gran cantidad de trabajo ponerlo a funcionar, mucho menos si utilizamos una librería para sensores ultrasónicos.

Figura 32. Sensor Ultrasónico HC-SR04(Nivel).

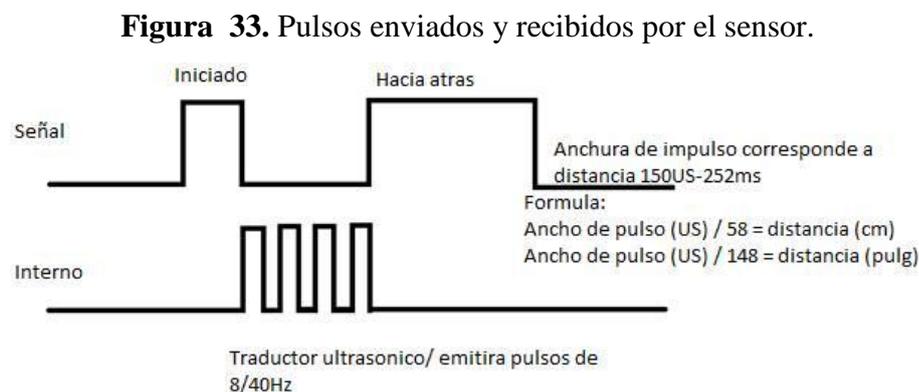


Fuente: Autores.

Como todas las cosas en el mundo de la programación, poner en marcha este sensor es una meta a la cual se puede llegar de mil maneras distintas. Utilizando una librería ya hecha para este fin que esta accesible en internet.

3.3.4.1 Conceptos Básicos. Este tipo de módulos para medición de distancia por ultrasonidos se divide en 2 grandes grupos: Interfaz mediante pulso de eco e interfaz serial (I2C o ART). El HC-SR04 cae dentro del primer grupo, por lo que explicaremos su funcionamiento brevemente en las siguientes líneas. La interfaz digital se logra mediante 2 pines digitales: el pin de trigger (disparo) y echo (eco). El primero recibe un pulso de habilitación de parte del microcontrolador, mediante el cual se le indica al módulo que comience a realizar la medición de distancia.

A través de un segundo pin (echo) el sensor “muestra” al microcontrolador un pulso cuyo ancho es proporcional al tiempo que tarda el sonido en viajar del transductor al obstáculo y luego de vuelta al módulo. Mediante una sencilla formula puede estimarse entonces la distancia entre el sensor y el obstáculo si se conoce el tiempo de viaje del sonido así como la velocidad de propagación de la onda sonora. La siguiente imagen muestra los pulsos recibidos y enviados por el sensor, de acuerdo a la hoja de datos elaborada por Itead Studio.



Fuente: Autores.

3.3.4.2 Especificaciones.

- Voltaje de funcionamiento: 5 V.
- Corriente estática: <2 mA=" li="".>

- Trabajo actual: 15 mA.
- Frecuencia de trabajo: 40 KHz.
- Señal de salida:
 - Frecuencia de la señal eléctrica.
 - 5 V de alto nivel.
 - Bajo nivel de 0 V.
- Ángulo Eficaz: <15°.
- Distancia de detección: 2 cm - 450 cm.
- Resolución: 0.3 cm.
- Medición de ángulo: 30°.
- Disparo de la señal de entrada: TTL pulso 10μs.
- Echo Señal de salida: señal PWL de TTL.
- Dimensiones de la placa: 43 mm X 20 mm.
- Modelo: HC-SR04.
- Modelo: 133696.

3.3.4.3 Cálculo matemático del nivel. Se realizó la media de los litros de agua en el depósito y hay un valor promedio de por cada 0.8 cm hay dos litros de agua con este valor se programó el sensor ultrasonido con la ayuda de la distancia y podemos comprobar con una simple operación matemática.

$$0.8 \text{ cm} \Rightarrow 2 \text{ lt} \quad (4)$$

$$24 \text{ cm} \Rightarrow X \text{ lt}$$

$$X \text{ lt} = \frac{24 \text{ cm} * 2 \text{ lt}}{0.8 \text{ cm}}$$

$$X \text{ lt} = 60 \text{ lt.}$$

3.3.5 Sensor de nivel electromagnético horizontal. El interruptor magnético de nivel se instala horizontal en una de las paredes del depósito, dependiendo del sistema standard de accionamiento del flotador.

Además es un dispositivo utilizado para detectar el nivel de líquido dentro de un tanque, que puede accionar una bomba, un indicador, una alarma u otro dispositivo.

Figura 34. Sensor de nivel electromagnético horizontal (nivel).



Fuente: (Excontrol, 2016).

3.3.5.1 *Características.*

- 100% nuevo y de alta calidad.
- Mini ángulo recto Interruptor de flotador.
- Este interruptor de flotador es un dispositivo para detectar el nivel de líquido en un tanque Puede accionar una bomba, un indicador, una alarma, u otros dispositivos. Úsalos con hidroponía, tanque de agua salada, el tanque de agua dulce, acuarios para el control de la cabeza de potencia.
- También se puede utilizar para detectar máquinas de hielo, cafeteras, tanques de peces, mascotas cuencos de control de nivel de líquido.

3.3.5.2 *Especificaciones.*

- Material de la carcasa: Plástico.
- Color de interruptor: blanco.
- Tamaño: Aprox. 2.16 * 1.18inch / 5.5 * 3cm.
- Longitud del cable: Aprox. 13.77inch / 35cm.
- Max conmutación Voltaje: 100 V DC / AC.
- Max Corriente de conmutación: 0.5 A.
- Max Tensión de disparo: 220V DC / AC.
- Carga máxima de corriente: 1.0A.

3.4 Accesorios usados y diseño del sistema de fluido

3.4.1 Accesorios usados. En la tabla 12 se detalla todos los accesorios que se utilizaron en la distribución e instalación de la línea de fluido.

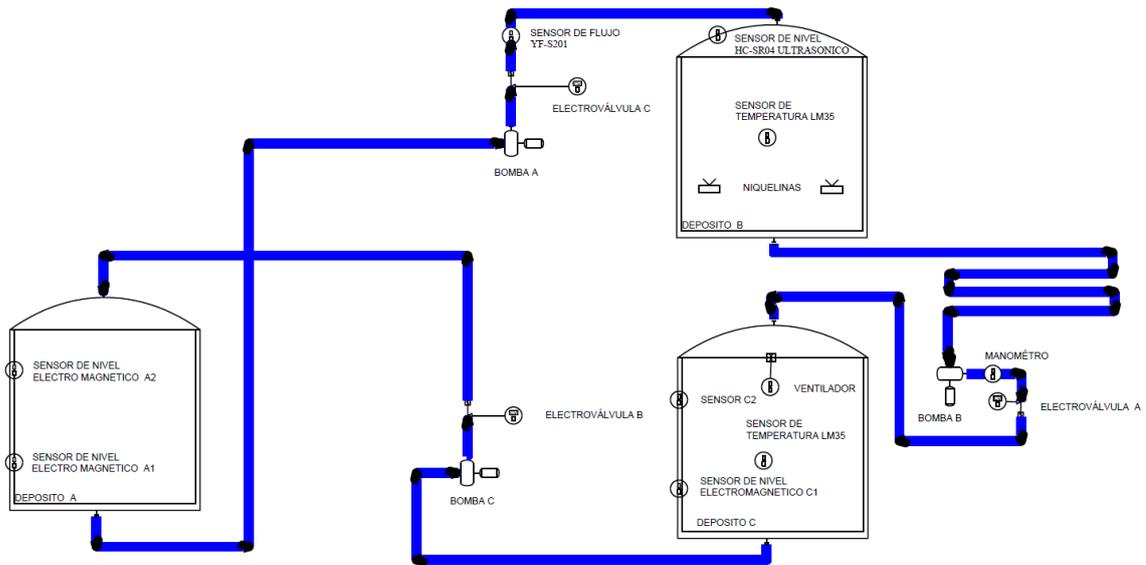
Tabla 12. Listado de accesorios del sistema de fluido.

Descripción de los accesorios	Imagen (PVC)	Imagen (Galvanizado)/(Cobre)
Codo de 90° el cual permite re direccionar al liquido.		
Union universal, esta permite separar el sistema sin desarmarlo por completo.		
Union sencilla, conecta dos tuberías o accesorios con rosca tipo macho.		
Neplo, este accesorio permite unir dos accesorios con rosca tipo hembra.		
T, accesorio que transforma de uno solo en dos vías.		
Union reductora, es un accesorio que tiene rosca hembra y sirve para reducir el diametro		
Bushing, es un accesorio rosca macho hembra que sirve para reducir el diametro		
Adaptador para deposito/ junta: es un accesorio que sirve para realizar el ingreso y salida del fluido a los diferentes depositos.		
Tubo, accesorio que sirve para transportar el fluido de un lugar a otro		

Fuente: Autores.

3.4.2 Diseño del sistema de fluido. En la fig. 35 se detalla de forma esquemática la instalación del sistema de fluido del módulo de instrumentación industrial y breve recuento del funcionamiento del sistema.

Figura 35. Esquema del sistema de fluido.



Fuente: Autores.

3.4.2.1 Bomba B. en la tabla

Tabla 13. Elementos usados en la distribución de la bomba B.

Succión desde el deposito B	Descargar al deposito C
Neplo, Unión	Reducción, Unión, Neplo
Codo (12u), Tubos de 1"	Codo, Tubo de ½", Electroválvula, Válvula check

Fuente: Autores.

3.4.2.2 Bomba A. en la tabla

Tabla 14. Elementos usados en la distribución de la bomba A.

Succión desde el deposito A	Descargar al deposito B
Universal	Easypress, Sensor caudalimetro,
Codo (3u), Tubos de 1"	Codo (3u), Reducción, Neplo, Unión, Electroválvula, Tubo de ½"

Fuente: Autores.

3.4.2.3 Bomba C. En la tabla

Tabla 15. Elementos usados en la distribución de la bomba C.

Succión desde el deposito C	Descargar al deposito A
Universal	Easypress, Sensor caudalimetro,
Codo (5u)	Codo (2u), Reducción, Neplo, Unión
Tubos de 1"	Electroválvula, Tubo de ½"

Fuente: Autores.

CAPÍTULO IV

4. PROGRAMACIÓN Y PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

4.1 Programación

Al momento en que se inició la programación y sabiendo que es la parte más importante del sistema de control, y como ya se mencionó anteriormente se utilizó el software Arduino y su plataforma con el lenguaje de programación C++, pero para realizar dicha programación se realiza un análisis lógico de los parámetros y condiciones en las cuales se va realizar el trabajo.

4.1.1 Análisis lógico. El análisis se lo realizo con cuatro etapas de cálculo con tablas de verdad, estas tablas de verdad se las hizo dependiendo con las condiciones en las que se requería que trabaje el equipo ya una vez que los 3 depósitos se encuentre llenos y tomemos en cuenta que (Temp B y Temp C = son las temperaturas que ingresamos por las pantallas), para poder hacer el control de instrumentación industrial.

4.1.1.1 Primera etapa cuando $Temp. Dep.B < Temp. B$ y $Temp. Dep. C < Temp. C$. En este primer caso tenemos que cuando, cumple estas condiciones se va a activar la electroválvula C con su respectivo relay, por lo tanto se encenderá la bomba C, lo cual permitirá el paso del fluido para llenar el depósito A.

También hay que tener en cuenta, que en este caso ya se encuentran encendidas las niquelinas y ventilador, pero las bombas A y B se encuentran apagadas.

4.1.1.2 Segunda etapa cuando $Temp. Dep.B < Temp. B$ y $Temp. Dep. C \geq Temp. C$. En este segundo caso tenemos que cuando, cumple las condiciones y por existir una mayor temperatura en el depósito C, se activa la electroválvula A, por ende se enciende la bomba A para llenar el depósito B.

También hay que tener en cuenta, que en este caso ya se encuentran encendidas las niquelinas y ventilador, pero las bombas B y C se encuentran apagadas.

4.1.1.3 Tercera etapa cuando $Temp. Dep. B \geq Temp. B$ y $Temp. Dep. C < Temp. C$. En este tercer caso tenemos que cuando, cumple las condiciones y por existir una mayor temperatura en el depósito B, a la ingresada por la pantalla de control, se activa la electroválvula A, por ende se enciende la bomba A, para llenar el depósito B y tratar de enfriar y cumplir con la temperatura que se ingresó.

Además también se enciende la bomba C, porque la temperatura del depósito C, es menor a la temperatura ingresada en la pantalla, por lo tanto el fluido que se encuentra en el depósito C, ya está fría o en condiciones idóneas para que regrese al depósito A.

También hay que tener en cuenta, que en este caso ya se encuentran apagadas las niquelinas al igual que la bomba B, pero el ventilador en todos los casos se encuentra encendido por el motivo de que se tiene que enfriar el fluido en el trayecto del depósito B hasta el depósito C.

4.1.1.4 Cuarta etapa cuando $Temp. Dep. B \geq Temp. B$ y $Temp. Dep. C \geq Temp. C$. En este cuarto caso tenemos que cuando, cumple las condiciones y por existir una mayor temperatura en el depósito B, a la ingresada por la pantalla de control, se activa la electroválvula A, se enciende la bomba A, para llenar el depósito B y tratar de enfriar y cumplir con la temperatura que se ingresó.

Además también se enciende la bomba B, porque la temperatura del depósito B, ya alcanzo su temperatura ingresada en la pantalla, por lo tanto el fluido que se encuentra en el depósito B, debe ser enviado al depósito C, para que este se enfríe o que alcance su condición idónea para poder empezar a repetir el ciclo.

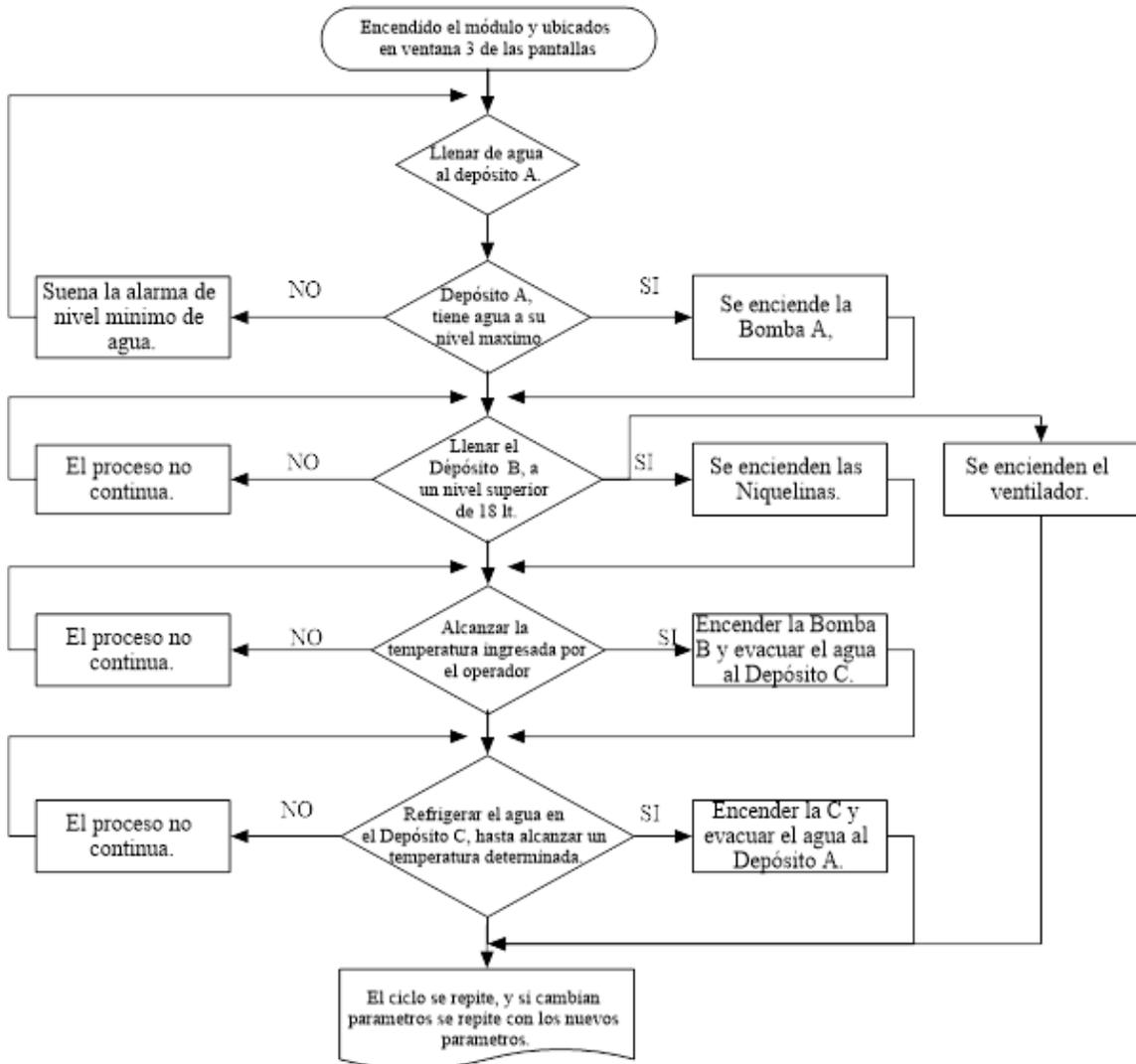
También hay que tener en cuenta, que en este caso ya se encuentran apagadas las niquelinas al igual que el caso anterior, pero el ventilador en todos los casos se encuentra encendido por el motivo de que se tiene que enfriar el fluido en el trayecto del depósito B hasta el depósito C.

Como en los casos anteriores, también mencionemos que la bomba C, se encuentra apagada y a continuación en la tabla 16 se puede apreciar el análisis lógico.

4.2 Análisis con diagrama de flujo de la programación

Se realiza un análisis de la programación con un diagrama de flujo para complementar el análisis lógico estudiado anteriormente a continuación se muestra el diagrama de flujo.

Figura 36. Flujograma de programación.



Fuente: Autores.

4.3 Guía práctica de funcionamiento

Esta guía ofrece al usuario los pasos e indicaciones para la instalación y manejo de todo el módulo didáctico, de pruebas de instrumentación industrial; se debe tener en cuenta que el lugar donde se vaya a realizar el análisis del comportamiento de las variables de

presión, temperatura, caudal y nivel en diferentes condiciones de operación, debe de tener una toma de agua y un desfogue de evacuación del agua ya utilizada.

Esta guía mostrará de forma detallada la manipulación de manera óptima, utilizando la gama de opciones que presentan las pantallas donde se puede realizar el control automático del funcionamiento del módulo y así no tener inconvenientes con las prácticas de laboratorio.

4.3.1 Verificación de los elementos. El módulo de instrumentación debe constar de los siguientes elementos y accesorios:

- Bombas ½ Hp.
- Easypress.
- Sensor ultrasónico HC-SR04.
- Sensor de Lm35.
- Sensor electromagnético horizontal.
- Sensor de caudal YF-S201.
- Tarjetas arduino mega 2560.
- Software arduino.
- Electroválvulas.
- Banco de relés.
- Fuente de poder.
- Tarjeta electrónica de control.
- Tubería PVC.
- Tubería de hierro galvanizado.
- Depósitos de agua.
- Estructura metálica.
- Cables de potencia de calibre número 12.
- Cables de comunicación.
- Contactor.
- Pantallas TFT.

4.3.2 Pasos preliminares. Para entrar en operación el módulo de instrumentación industrial

- Llenar con agua el depósito A sobre el nivel del sensor magnético horizontal.
- Verificar la conexión de las electroválvulas de cada bomba.
- Comprobar que la alimentación de 120V, sea la adecuada.
- En el depósito B que esté conectado el sensor ultrasónico y los dos alistamientos térmicos de cada resistencia térmica.
- Los sensores LM35 de los depósitos B y C estén en la mitad de dichos depósitos.

4.3.3 Tomar en cuenta. Que si el módulo no estuvo en funcionamiento en un periodo de 15 días es necesario realizar un sangrado a las tres bombas del módulo.

4.3.4 Operación del tablero de control (pantallas TFT TOUCH). El proceso de controlar y medir las variables de presión, temperatura, caudal y nivel, cuenta con un tablero de control que tiene dos pantallas TFT TOUCH para la operación automática dentro de la cual tendrá una gama de sub ventanas.

Energizado el sistema, se debe verificar que el botón de paro de emergencia no se encuentre accionado, dependiendo de esta verificación, se procede a accionar el interruptor para el encendido de las pantallas de control y detallamos con imágenes paso a paso, como se ingresan los datos para el control de las variables.

Figura 37. Botón de paro de emergencia y interruptor de encendido.



Fuente: Autores.

Le alimentamos a la fuente de poder del módulo con 120V CA, la cual transforma en CC de 5V y 12V. Desactivamos el botón tipo hongo y activamos el interruptor a la posición ON.

Como podemos apreciar en la siguiente figura Se enciende las tarjetas Arduino y las pantallas TFT en las dos pantallas se encuentran dos ventanas y se describen a continuación.

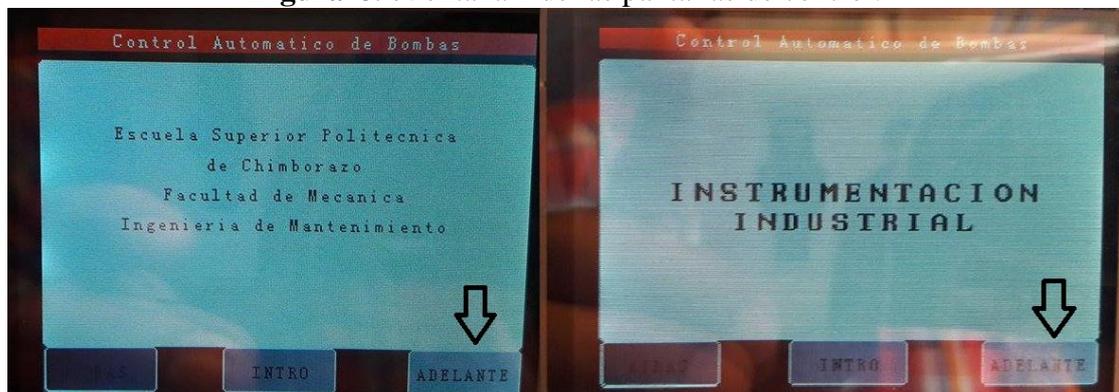
Figura 38. Encendido del sistema de control.



Fuente: Autores.

4.3.4.1 Ventana 1. Una vez encendido el sistema aparecen primero las pantallas de caratula tanto en la pantalla 1 y 2 se muestran en la fig. 39 y como son pantallas touch se oprime en adelante para pasar a la siguiente ventana.

Figura 39. Ventana 1 de las pantallas de control.



Fuente: Autores.

4.3.4.2 Ventana 2. Una vez que se oprimió la palabra “ADELANTE” aparece la siguiente ventana de las pantallas, donde se encuentran tanto el título del trabajo de titulación como el nombre de los autores. Tal como se muestra en la fig. 40.

Figura 40. Ventana 2 de las pantallas de control.

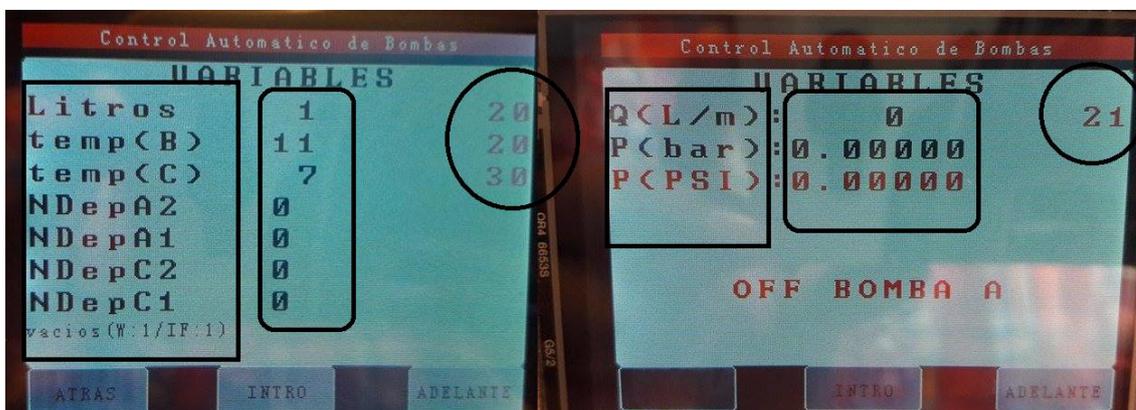


Fuente: Autores.

4.3.4.3 Ventana 3. Aquí se ejecuta el control principal del sistema y como se encuentra detallado en la fig. 41. Lo que se encuentra en el interior de los rectángulos, es la nomenclatura de las variables medidas, lo que se encuentra en el interior de los rectángulos circulares son: los valores medidos de las variables en tiempo real y está en el interior de los círculos y estos son: los valores que debe ingresar el usuario para que los sensores dependiendo de valor puedan cumplir acciones de control.

También se puede reflejar si esta encendida o apagada la bomba A, que alimenta al depósito B, donde se realiza todo el proceso. Cuando esta encendido la bomba A podemos tomar lectura del caudal y la presión del sistema.

Figura 41. Ventana 3 de las pantallas de control.



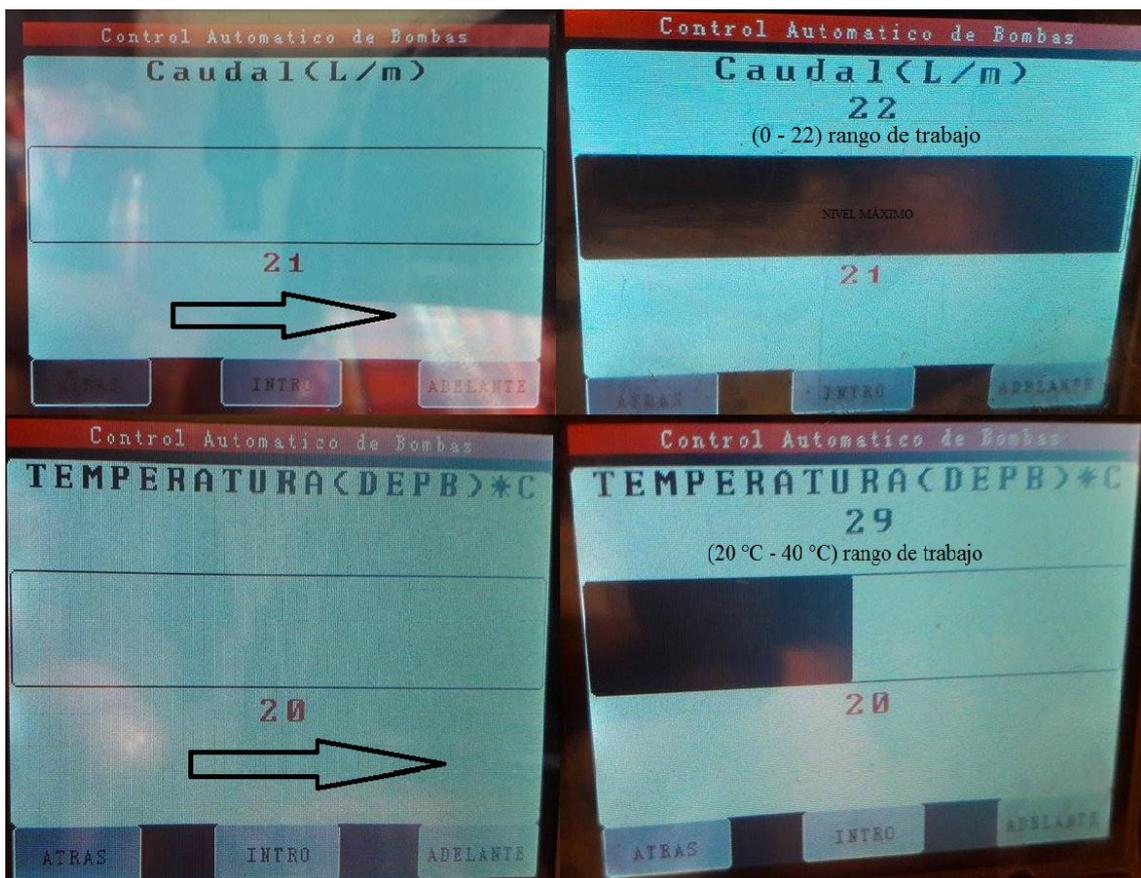
Fuente: Autores.

Estos valores ingresados por el usuario son los parámetros con lo que el sistema debe de cumplir. Además si se tiene un nivel de agua muy abajo del nivel mínimo del depósito A, se escuchara una alarma la cual informa que el sistema no funcionara porque no existe el suficiente fluido en el sistema.

4.3.4.4 Ventana 4. Aquí es donde se ingresan los valores a obtener y de acuerdo este valor el módulo entra en operación y trabaja bajo estas condiciones.

Para realizar el ingreso de los valores en las ventanas y tenemos la opción de hacerlo mediante estas barras deslizables en las cuales se debe presionar en la barra y deslizar hacia la derecha hasta obtener el valor que deseamos, ya una vez obtenido el valor se presiona “INTRO” y este valor se guardara automáticamente en la ventana número 3 de las pantallas 1 y 2.

Figura 42. Ventana 4 de las pantallas de control.



Fuente: Autores.

Adicional a esto, en la ventana 4 es donde ingresamos el valor de la temperatura del depósito B, la temperatura del depósito C, es en la ventana 5 y la cantidad de litros a ingresar en el depósito B en la ventana 6.

Y con un mínimo de 18 litros por seguridad si no se cumple con esta condición las resistencias térmicas, no se encenderán para poder calentar el agua y así continuar con el control de las variables.

En la ventana 3, podemos seguir tomando datos de la temperatura del depósito B y C, así como también los litros que están ingresando al depósito B.

En la ventana 4, de la pantalla 2 es donde se ingresa el valor de caudal a suministrar la bomba A, de igual manera se regresa a la ventana 3 de la pantalla donde se verifica el cumplimiento de los parámetros ingresados.

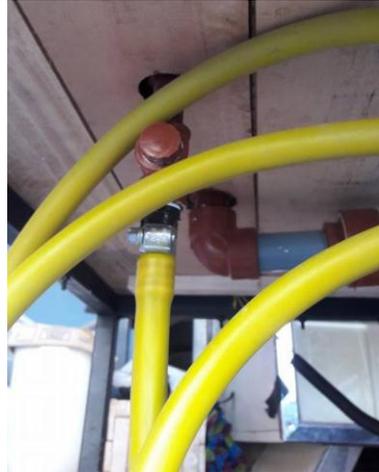
4.3.4.5 A tener en cuenta. La ventana 3 es la más importante porque, esta es donde empieza a funcionar todo el sistema del módulo, si no se encuentra en esta ventana no funciona el módulo.

4.3.4.6 Limpieza del agua en los depósitos. Luego de realizar el control y la medición no podemos dejar el agua en el depósito, si es el caso de no volverlo a utilizar enseguida, para esto es necesario evacuarle el fluido desde el depósito A, hacia una alcantarilla abriendo la válvula de esfera que se encuentra en la parte inferior del depósito A y el sobrante de cada depósito lo extraemos con un recipiente más pequeño

Se debe limpiar cada uno de los depósitos para evitar que este fluido entre en descomposición y para evitar malos olores y estos inconvenientes de descomposición una vez llenado el depósito A, se debe verter líquido químico anticloro o aclarador, el mismo que se utiliza comúnmente en las peceras.

En la fig. 43 se observa el desfogue del fluido que ya no se va a utilizar y además la misma manguera, ya se encuentra adecuada para conectarle a una llave de toma de agua para poder llenar el depósito A.

Figura 43. Válvula y conexión de manguera para el desfogado de fluido.



Fuente: Autores.

4.4 Toma de datos de las variables

Ya hecha las pruebas pertinentes de funcionamiento del módulo MICM 1.0 se procede hacer registro de los valores de las variables en tiempos reales de operación.

Tabla 17. Medición de tiempos de las variables Caudal y Presión.

TIEMPO (t) s.	CAUDAL (Q) L/min	PRESIÓN (P) bar.	PRESIÓN (P) PSI.
60s	22L	1.8 bar	26.10 psi
38.18s	15L	0.797 bar	11.573 psi
21.81s	7L	0.17 bar	2.57 psi

Fuente: Autores.

Tabla 18. Medición de tiempos de la variable Temperatura.

TIEMPO (t) min. DEP. B	TEMP. DEP, B (°C)	TIEMPO (t) min. DEP. C	TEMP. DEP. C (°C) En enfriar
20 min	40 °C	15 min	(40 °C a 30 °C)
14 min	30 °C	15 min	(30 °C a 20 °C)
8 min	20 °C	15 min	(20 °C a 10 °C)

Fuente: Autores.

Tabla 19. Medición de tiempos de la variable Nivel.

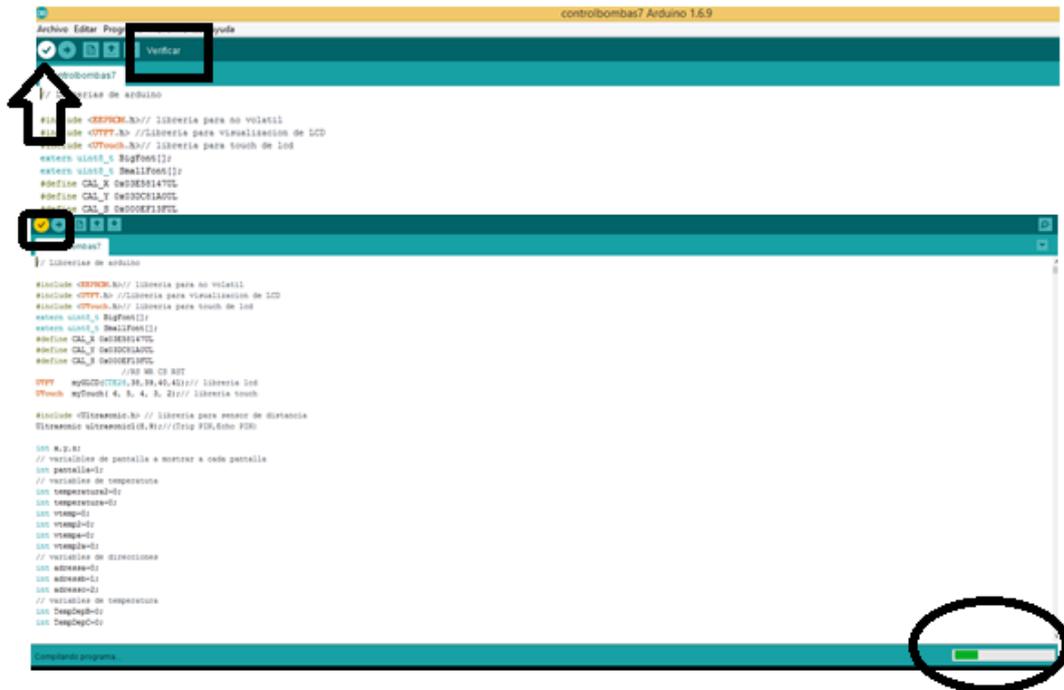
.TIEMPO (t) min. DEP. B	NIVEL EN (Lt.)
4 min	60 lt
2 min	30 lt
1.1 min	18 lt

Fuente: Autores.

4.5. Cargar programa desde el software a la tarjeta arduino

4.5.1 *Verificar*. Ya realizado el programa se manda a verificar desde el software mismo, si no tiene errores el programa está listo para cargar.

Figura 44. Verificación del programa.



Fuente: Autores.

Como se puede apreciar en la fig. 46. Se debe dar clic en el símbolo de visto, y aparece la palabra verificar.

Ya dado clic en el icono de verificar se pone en amarillo el icono y aparece una barra en la parte inferior derecha de la pantalla, ya cuando se llena la barra y no vota errores el programa se encuentra bien diseñado y programado.

4.5.2 *Conectar la tarjeta*. Para realizar la comunicación del computador a la tarjeta se necesita un cable USB de impresora, la tarjeta arduino Mega 2560 y cuando se conecta se puede verificar si está conectado cuando se prenden los dos led que se encuentran en la tarjeta.

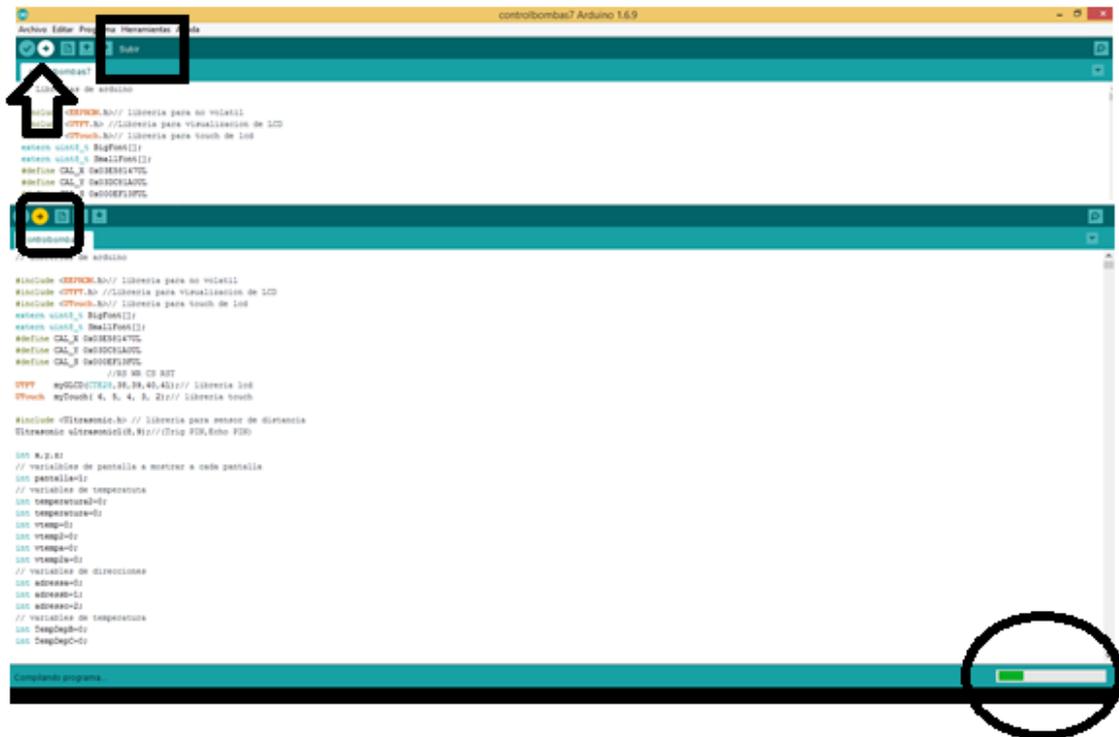
Figura 45. Conexión de tarjeta a computador.



Fuente: Autores.

4.5.3 *Cargar programa.* Para poder cargar el programa se necesita un cable USB, y la tarjeta arduino donde deseemos cargar el programa.

Figura 46. Cargar el programa en la tarjeta.



Fuente: Autores.

De la misma forma que cuando se hizo la verificación del programa sucede lo mismo y se carga el programa, podemos verificar si se está cargando el programa, en el intermitencia del led, cuando ya esté el programa cargado el led estará encendido.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

El módulo de instrumentación industrial, necesita un proceso de construcción, de adquisición: materiales, elementos, accesorios y mano de obra.

Es preciso realizar una descripción de los rubros invertidos para la elaboración y construcción del módulo para controlar y medir las variables de presión, temperatura, caudal y nivel, en el cual intervienen costos indirectos, directos y mano de obra.

5.1 Costos Indirectos

Los costos indirectos no actúan directamente en la fabricación del módulo de instrumentación, pero no son despreciados para el desarrollo del mismo, ya que estos costos están involucrados en costo total de la construcción.

Tabla 20. Costos indirectos.

DESCRIPCIÓN	COSTO [USD]
Imprevistos	200,00
Movilización	150,00
Reproducción del Proyecto de Tesis	200,00
Empastado	100,00
Documentación	150,00
TOTAL	800,00

Fuente: Autores.

5.2 Costos Directos

Estos costos se relacionan directamente con las actividades que son necesarias para la obtención del módulo de instrumentación, entre los cuales encontramos mano de obra, materiales, suministros, equipos utilizados, insumos y accesorios.

La descripción y detalles de costos se muestran a continuación en la tabla 17.

Tabla 21. Lista de materiales y costos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	Caract/total	COSTO UNITARIO [USD]	COSTO TOTAL [USD]
1	Tubo cuadrado	1 1/4" (3)	6	18.00
2	Madera		25	25.00
3	Tapón de caucho	3/4"	2.50	5.00
4	Pernos milimétricos	1/4"	0.10	0.40
5	Caja dieléctrica	30*25*12cm	25	25.00
6	Depósitos de plástico	70 Lt	23	69.00
7	Silicona	4	2	8.00
8	Conductor	#22	0.50	10.00
9	Arduino mega 2560	2	30	60.00
10	Fuente de poder	1	24	24.00
11	Contactador	1	8	8.00
12	Moto reductor	1	4.00	4.00
13	Sensor ultrasonido	1	12.00	12.00
14	Sensor de temperatura LM35	2	3.50	7.00
15	Sensor de caudal	1	22.00	22.00
16	Easypress	1	70.00	70.00
17	Sensor magnético	4	8.50	34.00
18	Tubo de PVC	1/2"	6.50	19.50
19	Tubo galvanizado	1"	10.50	15.75
20	Codo	20	0.35	7.00
21	T	2	0.50	1.00
22	Unión	6	0.45	2.70
23	Neplo	5	0.40	2.00
24	Universal	3	1.50	4.50
25	Teflón	8	1.00	8.00
26	Sellador	4	6.80	27.80
27	Reductor de 1" a 1/2"	3	0.75	2.25
28	Manómetro	1	6.50	6.50
29	Adaptador para deposito	3	1.25	3.75
30	Junta	4	1.00	4.00
31	Placa A4	1	4.00	4.00
32	Banco de relés	1	21.00	21.00
33	Resistencia cerámica	2	1.50	3.00
34	Aislante térmico	2	0.80	1.60
35	Led	9	0.10	0.90
36	Diodos	8	0.15	1.20
37	Condensadores 470uF	4	0.15	0.60
38	Moc. Pc. 817	8	1.50	12.00
39	Potenciómetro	1	0.40	0.40
40	Botón tipo hongo	1	4.50	4.50
41	Interruptor	1	0.60	0.60
42	Estaño	1	8.50	8.50
43	Pasta	1	4.00	4.00
44	Broca	1/4" (1)	5.00	5.00
45	Transistor	8	0.15	1.20
46	Puertos	8	0.15	1.20
47	Cable bus de datos	2m	2.00	4.00
48	Regulador V 7808	2	1.50	3.00

49	Regulador V 7805	2	1.50	3.00
50	Diodo rectificar 1N5400	4	0.15	0.60
51	Capacitores 1000uF	5	0.10	0.50
52	Placa fibra de vidrio	10*10 (1)	1.50	1.50
53	Resistencia	27	0.05	1.35
54	Borneras	5	0.20	1.00
55	Espadines	4	0.75	3.00
56	Buzzers	1	3.00	3.00
57	Regleta	1	0.75	0.75
58	Molex	12	0.25	3.00
59	Taype	2	0.60	1.20
60	Espaguete (sorbete térmico)	3	0.75	2.25
61	Cable de datos	10	0.90	9.00
62	Disipador de calor	1	0.80	0.80
63	TFT touch	2	28.00	56.00
64	Broca	Para placa	2.75	2.75
65	Pernos auto perforantes	20u	0.15	3.00
66	Conductor	#12 (10m)	1.00	10.00
67	Abrazadera	½" (12)	0.25	3.00
68	Prensa estopa	3	0.40	1.20
69	Manguera	2m	1.00	2.00
70	Electroválvulas	3	15.00	45.00
71	Mosfet	1	5.50	5.50
TOTAL				742.25

Fuente: Autores.

Tabla 22. Costos de mano de obra.

DESCRIPCIÓN	COSTO [USD]
Asesoría externa	500,00
Mano de obra	200,00
TOTAL	700,00

Fuente: Autores.

5.3 Costos Totales

Tabla 23. Costos totales.

COSTOS DIRECTOS	
Descripción	Costo [USD]
Materiales	742.25
Mano de obra	700,00
Total costos directos	1442,25
COSTOS INDIRECTOS	
Total costos indirectos	800,00
TOTAL	2242,25

Fuente: Autores.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se implementó un módulo de instrumentación, para controlar y medir variables de presión, temperatura, caudal y nivel, cumpliendo todos los parámetros necesarios, y demuestra que es confiable y seguro, para su operación, en el laboratorio de automatización industrial de la facultad de mecánica.

Se seleccionó los equipos, instrumentos y accesorios, con un análisis minucioso de las especificaciones técnicas y de los costos de cada uno de los elementos que se compró, los mismos que cumplieron con las especificaciones técnicas para su correcta operación en el módulo de instrumentación.

Se realizó satisfactoriamente el control y la medición de las variables de presión, temperatura, caudal y nivel de un sistema de fluido, con ayuda de sensores adecuados para realizar la lectura de cada variable ya mencionada y estos sensores conectados a unas tarjetas electrónicas de control, y con ayuda de los equipos e instrumentos, que se encuentran en el módulo.

Se generó una guía práctica de funcionamiento, donde se detalló paso a paso las acciones que debe realizar el usuario, para que el módulo entre en operación correctamente. Además esta guía será de mucha ayuda, no solo para el técnico encargado del módulo sino también para las personas que deseen realizar prácticas de laboratorio en el área de instrumentación industrial.

6.2 Recomendaciones

Antes de realizar cualquier práctica de laboratorio se recomienda verificar todas las conexiones eléctricas del módulo, además el módulo no realizara ninguna acción si el deposito A, no se encuentre el nivel de fluido máximo y donde el usuario debe tener previos conocimientos para manipular todos los elementos que fueron incorporados en el módulo de instrumentación.

Para calentar el fluido debemos tener al menos 18 litros de fluido, en el depósito B sino las resistencias térmicas no se encenderán y no podemos continuar el control y medición de las variables.

Si desean cambiar los parámetros de medición, se debe realizar los cambios desde el programa original que se realizó en el software de arduino.

Si algo no comprende o no sabe cómo utilizarle, leer la guía práctica del funcionamiento del módulo de medición y control de variables.

BIBLIOGRAFÍA

Arduino. *Arduino Mega 2560* [En línea]. 08 de 10 de 2012. [Consulta: 20 de 06 de 2016.]. Disponible en: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=125908.0>

Arduino. *Controlador Arduino* [En línea]. 2014. [Consulta: 19 de 07 de 2016.]. Disponible en: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>

Arduinoecia. *Sensor LM 35* [En línea]. 19 de 02 de 2013. [Consulta: 02 de 08 de 2016.]. Disponible en: <http://www.arduinoecia.com.br/2013/02/lm35-sensor-de-temperatura.html>.

CREUS SOLÉ, Antonio. *Instrumentacion Industrial*. 8^{va} ed. Mexico: Alfaomega Grupo, pp. 90 - 100.

CREUS SOLÉ, Antonio. *Instrumentacion Industrial*. 6^{ta} ed. Mexico: Alfaomega Grupo. 1997, pp. 85 - 90.

DHAYZON, Hdz. *INSTRUMENTACION INDUSTRIAL* [En línea]. BLOGSPOT.COM, 11 de 07 de 2011. [Consulta: 10 de 07 de 2016.]. Disponible en: <http://planespecifico.blogspot.com/2011/08/medicion-de-nivel.html>

DOEBELIN, Ernest. *Sistemas de Medición e Instrumentación Diseño y aplicación*. 5^{ta} ed. México : McGraw-Hill Interamericana. 2005. 10-970.

Excontrol. *Domotica Arduino* [En línea] 20 de 01 de 2016. [Consulta: 03 de 08 de 2016.]. Disponible en: <http://domotica-arduino.es/cursos-programacion/>

FERNANDEZ, Josep. *Programación Arduino* [En línea] *docplayer.es*, 09 de 2012. [Consulta: 20 de 07 de 2016.]. Disponible en: <http://docplayer.es/4416531-Ejemplo-de-aplicacion-con-arduino-medida-de-caudal.html>

LÓPEZ, Walter & MOYÓN, Nelson. *Desarrollo de un sistema SCADA para la medición de temperatura con sistemas embebidos para el laboratorio de mecatrónica de*

la facultad de mecánica, (Tesis) (Ingeniería) [En línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, Riobamba - Ecuador, 2011. p.p. 35 - 45. [Consulta: 13 de 07 de 2016.]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1145/1/25T00148.pdf>

JARRÍN, Carolina & CARVAJAL, Gandhi. Diseño e implementación de un sistema modular didáctico, para control de nivel, caudal y presión para el laboratorio de automatización mecatrónica de la universidad de las fuerzas armadas, (Tesis) (Ingeniería) [En línea] Universidad de las Fuerzas Armadas, Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica , Escuela de Ingeniería Mecatrónica, Quito - Ecuador, 2015. p.p. 33 - 50. [Consulta: 13 de 05 de 2016.]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/5655/browse?value=Gandhi+Carvajal%2C+Carolina+Jarr%C3%ADn&type=author>