



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA.

**CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
& AVIÓNICA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE:**

**TECNÓLOGO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN
INSTRUMENTACIÓN & AVIÓNICA**

**TEMA: “IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE
CAUDAL DIGITAL MEDIANTE ARDUINO PARA LAS
PRÁCTICAS DE CONTROL DE PROCESOS”.**

AUTOR: MONTAGUANO PILLAJO ÁNGELA GEOVANNA

DIRECTORA: ING. ALPUSIG SILVIA.

LATACUNGA

2018



**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN
CARRERA ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de Titulación, **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE CAUDAL DIGITAL MEDIANTE ARDUINO PARA LAS PRÁCTICAS DE CONTROL DE PROCESOS”** realizado el Srta. **MONTAGUANO PILLAJO ÁNGELA GEOVANNA**, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto me permito acreditarlo y autorizar a la señorita **MONTAGUANO PILLAJO ÁNGELA GEOVANNA** para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 13 de Agosto del 2018

Atentamente,

Ing. Alpusig Silvia.



**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN
CARRERA ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **MONTAGUANO PILLAJO ÁNGELA GEOVANNA**, con cédula de identidad N° 0503801649, declaro que este trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE CAUDAL DIGITAL MEDIANTE ARDUINO PARA LAS PRÁCTICAS DE CONTROL DE PROCESOS”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaro que este trabajo es de mi autoría, en virtud de ello me declaro responsable del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 13 de Agosto del 2018

Montaguano Pillajo Ángela Geovanna

C.I: 1724042328



**DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN
CARRERA ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN Y AVIÓNICA**

AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)

Yo, **MONTAGUANO PILLAJO ÁNGELA GEOVANNA**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DE CAUDAL DIGITAL MEDIANTE ARDUINO PARA LAS PRACTICAS DE CONTROL DE PROCESOS”** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi autoría y responsabilidad.

Latacunga, 13 de Agosto del 2018

Montaguano Pillajo Ángela Geovanna

C.I:1724042328

DEDICATORIA

Me gustaría ofrecer este logro a mi madre Blanca que ha sido el pilar fundamental para continuar con mis estudios con sus enseñanzas, valores, principios y buenos regaños que han servido para llegar a ser la persona que soy, en especial por el amor incondicional que siempre me brindo, el cual me sirvió para superar todo problema y adversidad que se presentaba en mi vida diaria.

A mi hermano Rolando que sin su apoyo no hubiera podido estudiar, por confiar en mí, brindarme el abrigo de hogar por darme y enseñarme lo que vale el esfuerzo y los frutos que se obtiene cuando se persevera y nunca se rinde.

A mi padre que no se encuentra conmigo, pero que desde donde este me echó sus bendiciones, me cuidó y me dio la fuerza, coraje y valentía para continuar y seguir adelante.

A Juan que ha sido un pilar fundamental por el apoyo que me brindo en los buenos y malos momentos, la amistad incondicional y los consejos que siempre me animaban a continuar.

Ángela

AGRADECIMIENTO

Este logro no hubiera sido posible sin la ayuda de Dios que con sus bendiciones me ha permitido cumplir un sueño y una meta más.

A mi madre Blanca que me dio su ejemplo de mujer por su fortaleza para salir adelante en los peores momentos sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento ,por haberme dado la vida y enseñarme a vivirla no tengo palabras para agradecer todo los sacrificios que ha hecho por mí.

A mi hermano Rolando, por tu empeño, constancia, entusiasmo y tus ganas de ser mejor, por tu cariño incondicional, porque has sido y serás siempre un ejemplo indudable de honradez, humildad, sabiduría, y responsabilidad, por apoyarme incondicionalmente en todo momento, quiero agradecerte toda la confianza depositada en mí.

A las ingenieras Zahira Proaño y Elisa Coque que me enseñaron el valor de la humildad y la amistad me apoyaron en los momentos más críticos de mi vida estudiantil con sus consejos y palabras de aliento para no desfallecer en el intento de ser una persona mejor.

A todos aquéllos que contribuyeron en mi formación académica y profesional: a mis profesores, que compartieron conmigo sus conocimientos a lo largo de mi educación universitaria.

A todos mis amigos y compañeros por su apoyo en las buenas y malas experiencias que vivimos juntos.

Con amor y agradecimiento infinito.

Ángela

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN (PUBLICACIÓN BIBLIOTECA VIRTUAL)	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4 OBJETIVOS.....	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivos específicos.....	2
1.5 ALCANCE.....	3
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Introducción	4
2.2 Conceptos de sensor, transductor y transmisor	4

2.2.1	Sensor	5
2.2.2	Transductor	5
2.2.3	Transmisor	5
2.3	Variable Caudal	5
2.4	Terminología de los procesos de medición de caudal	6
2.4.1	Precisión	6
2.4.2	Repetibilidad	6
2.4.3	Linealidad	6
2.4.4	Incertidumbre	6
2.5	Unidades de medición de caudal	8
2.5.1	Caudal volumétrico	8
2.5.2	Caudal másico	8
2.6	Medidores de caudal	8
2.6.1	Medidores de caudal tipo turbina	9
2.7	Sensor de flujo Savant FS-2000H	10
2.7.1	Principio de funcionamiento sensor FS-200H	10
2.7.2	Características del sensor digital de efecto hall	11
2.7.3	Diagrama de pines sensor de flujo Savant FS-2000H	12
2.7.4	Instalación del sensor de flujo Savant FS-2000H	13
2.7.5	Calibración sensor de flujo Savant FS-2000H	13
2.7.5.1	Datos de calibración horizontal	15
2.7.5.2	Datos de calibración vertical	15
2.8	Ventajas e inconvenientes sensores de turbina	15
2.8.1	Ventajas	16
2.8.2	Desventajas	16
2.9	Exactitud de los sensores tipo turbina	17
2.10	Bomba sumergible	17
2.10.1	Partes de la bomba sumergible	18

2.10.2 Ventajas de la bomba sumergible	19
2.10.3 Funcionamiento	20
2.10.4 Cavitación	20
2.11 Electroválvula proporcional	21
2.11.1 Control proporcional	22
2.11.2 Ventajas de las válvulas proporcionales	22
2.11.3 Válvula TR24-SR	22
2.12 Pantalla Liquida de Cristal LCD	23
2.12.1 Pines de alimentación	24
2.13 Arduino	25
2.14 Controlador lógico programable	26
2.14.1 PLC S7-1200	27
2.14.2 Módulo de salidas analógicas	28
2.14.3 Datos técnicos del módulo de señales analógicas SM-1232	29
2.14.4 Comunicación Ethernet	31
2.15 HMI	31
2.15.1 Pantalla SIEMENS KTP600 PN	31
2.15.2 Componentes de la pantalla KTP600 PN	32
2.16 TÍA PORTAL	33
2.16.1 Características TIA PORTAL	34
2.17 Circuito Amplificador.....	35
2.17.1 Características generales LM358	35
CAPÍTULO III	36
IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR DE CAUDAL DIGITAL MEDIANTE ARDUINO	36
3.1 Introducción	36
3.2 Especificación de requisitos del sistema	37
3.3 Diagrama de bloques ,P&ID del sistema	38

3.3.1 Diagrama de bloques.....	38
3.3.2 Diagrama P&ID.....	40
3.4 Montaje del sensor Savant FS-200h.....	41
3.5 Programación Arduino	43
3.5.1 Programa Arduino.....	43
3.5.2 Partes IDE Arduino	43
3.5.3 Creación de nuevo proyecto	45
3.5.4 Esquema de conexión del transmisor	49
3.6 Programación en TIA PORTAL	50
3.6.1 Conexión de módulo de señales	52
3.7 Creación de variables	53
3.7.1 Asignación de variables.....	54
3.8 Conexión de módulo de señales.....	55
3.9 Crear objetos de entrada y salida de una variables.....	56
3.10 Pruebas de funcionamiento	57
CAPÍTULO IV.....	59
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	59
4.1 Conclusiones	59
4.2 Recomendaciones	60
GLOSARIO DE TÉRMINOS	61
REFERENCIA BIBLIOGRAFÍA.....	62
ANEXOS.....	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Salida de transmisores	6
Tabla 2 Unidades de medición de caudal volumétrico	7
Tabla 3 Unidades de medición de caudal másico	8
Tabla 4 Formas de medición de caudal.....	8
Tabla 5 Cables de conexión	12
Tabla 6 Velocidad de flujo por posición del sensor.....	14
Tabla 7 Calibración en montaje horizontal	14
Tabla 8 Calibración en montaje vertical.....	15
Tabla 9 Descripción de las partes de la bomba.....	18
Tabla 10 Pines de alimentación	24
Tabla 11 Pines de control	25
Tabla 12 Datos técnicos SM-1232	30
Tabla 13 Características del KTP-600.....	31
Tabla 14 Características eléctricas LM 358.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura interna medidor tipo turbina	9
Figura 2. Sensor de flujo Savant FS-2000H.....	10
Figura 3. Efecto Hall.....	10
Figura 4. Disparo del transistor interno	11
Figura 5. Conexión sensor FS-2000H.....	11
Figura 6. Dirección horizontal del sensor	12
Figura 7. Dirección vertical del sensor	14
Figura 8. Partes de la bomba sumergible	16
Figura 9. Bomba sumergible, disposición y perspectiva	17
Figura 10. Efecto de la cavitación en la capacidad de la bomba	19
Figura 11. Válvula proporcional	20
Figura 12. Diagrama de conexión	22
Figura 13. LCD16x2	23
Figura 14. Diagrama de conexión LCD16X2.....	24
Figura 15. Placa Arduino UNO.....	24
Figura 16. Partes de la placa Arduino UNO	26
Figura 17. Diagramas de bloque ciclo cerrado	26
Figura 18. Configuración de un sistema de automatización S7-1200	29
Figura 19. Módulo de señal para PLC S7-1200	29
Figura 20. Pines de conexión del módulo SM-1232.....	30
Figura 21. Touch KTP-600 PN.....	32
Figura 22. Partes del TOUCH KTP-600 Mono PN	32
Figura 23. Software TIA PORTAL	33
Figura 24. Visión general SIMATIC.....	34
Figura 25. Diagrama de pines LM 358	35
Figura 26. Disposición de tanques módulo LTQM-001	37
Figura 27. Diagrama de bloques del módulo	39
Figura 28. P&ID módulo LTQM-001	40
Figura 29. Vista frontal de la estación	42
Figura 30. Ventana IDE Arduino	43
Figura 31. Ubicación número de líneas	44
Figura 32. Accesos principales IDE Arduino	44
Figura 33. Área de mensajes IDE Arduino.....	44
Figura 34. Consola IDE Arduino.....	45
Figura 35. IDE Arduino.....	45

Figura 36. Configuración placa y puerto placa Arduino.....	46
Figura 37. Variables del programa	46
Figura 38. Lectura de pulsos del sensor	47
Figura 39. Menú de selección de unidades.....	48
Figura 40. Esquema de conexión del Arduino.....	49
Figura 41. Esquema de conexión para el amplificador	49
Figura 42. Software TIA PORTAL	50
Figura 43. Crear proyecto	50
Figura 44. Configurar dispositivo	51
Figura 45. Selección del controlador.....	51
Figura 46. Selección del módulo de señales SM 1232AQ	52
Figura 47. Modulo SM 1232 AQ conectado al PLC.....	52
Figura 48. Acceso variable del PLC	53
Figura 49. Variable del programa.....	54
Figura 50. Escalado del programa	54
Figura 51. Agregar dispositivo HMI	54
Figura 52. Selección dispositivo HMI	55
Figura 53. HMI medidor de caudal	56
Figura 54. Comparación HMI-LCD.....	57
Figura 55. Exactitud del sensor	57
Figura 56. HMI	58
Figura 57. Medición en LCD	58
Figura 58. Menú de selección de unidades	58

RESUMEN

El Trabajo de Titulación consiste en implementar un caudalímetro digital mediante Arduino para las prácticas que serán desarrollados en el Laboratorio de control de procesos de la Unidad de Gestión de Tecnologías - ESPE empleando un medidor de caudal tipo turbina de efecto hall colocado en el módulo LTQM-001 (Modulo de Nivel, Temperatura y Caudal-001) con fines educativos. El caudalímetro mide el flujo de agua que circula por la línea de descarga de la bomba P-001 hacia el tanque de proceso T-001 del módulo. La salida del caudalímetro (pulsos) ingresa a una entrada digital del microcontrolador (Arduino) donde se programa el transmisor y se envía el flujo instantáneo a una pantalla lcd para monitorear el caudal en la tubería en unidades de litros por minuto (L/min). El transmisor además, cuenta con un menú que permite modificar la lectura de la unidad de medición del caudal definida (L/min) mediante un teclado a (Gpm ó cm^3/s). El transmisor envía una señal eléctrica en un rango de (0-5V) hacia un circuito amplificador para obtener una salida de (0-10V), este voltaje se conecta al módulo de señales analógicas del PLC-001 (Controlador Lógico Programable del módulo LTQM-001) para generar una perturbación es decir, modifica la apertura y cierre de la electroválvula LCV-T001. El porcentaje de apertura o cierre de la electroválvula es ingresado en el HMI (TOUCH SCREEN) para comprobar la lectura del caudalímetro. Esta lectura del caudal dentro del proceso garantiza al usuario la comprensión e interpretación del flujo real en el módulo LTQM-001.

Palabras Claves

ARDUINO.

ESTACIÓN DE PROCESOS

ELECTROVÁLVULA

LCD.

CAUDAL.

ABSTRACT

This research consists of implementing a digital flowmeter using Arduino for the practices that will be developed in the Process Control Laboratory of Unidad de Gestión de Tecnologías - ESPE using a FS_2000H hall effect turbine flowmeter of the hall effect turbine flowmeter placed in the LTQM-001 module (Level, Temperature and Flow Module-001) for educational purposes, which will serve to familiarize students with industrial processes. The meter measure the flow of water flowing through the P-001 pump discharge line to the module's T-001 process tank. The flowmeter output (pulses) enters a digital input of the microcontroller (Arduino) where the transmitter is programmed and the instantaneous flow is sent to an LCD display to monitor the flow rate in the pipe in units of liters per minute (L/min). using a keypad (Gpmr cm³/s).The Arduino based transmitter sends an electrical signal with a range of (0-5V) to an amplifier circuit with an output of (0-10V) this voltage is connected to the analog signal module of the PLC-001 (Programmable Logic Controller) of the LTQM-001 module) to generate a disturbance, it means that modify the opening and closing of the LCV-T001 solenoid valve through the HMI (TOUCH SCREEN) to check the flow meter reading. This flow rate reading within the process guarantees the user the compression and interpretation of the actual flow rate in the LTQM-001 module.

KEYWORDS:

ARDUINO.

PROCESSING STATION

ELECTRICAL VALVE

LCD.

FLOW.

CHECKED BY:

Lcda. María Elisa Coque

DOCENTE UGT

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.1 ANTECEDENTES.

Con el pasar del tiempo la tecnología ha ido avanzando considerablemente por lo que la industria se ha ido modernizando, esto hace primordial e imprescindible el uso de la automatización en procesos industriales para garantizar la obtención de un producto de calidad.

Actualmente existen implementaciones de medidores de caudal en el laboratorio de la UGT de la ESPE que permiten relacionarnos con el principio de funcionamiento de la variable. Sin embargo su elevado costo hace que sea una aplicación para un sistema dedicado por lo que es necesario la implementación de elementos de medición de bajo costo que sean amigables con el usuario y que permitan a los estudiantes tener contacto y manipular variables reales de los procesos de control industriales que involucren la instrumentación, el control y comunicación. La medición de flujo es un proceso común en las industrias grandes como petroleras, pasteurizadoras, acerías, refinerías etc. Al manipular un sensor de caudal el alumno se familiarizara con el principio básico de funcionamiento del sensor de caudal, dentro de cualquier industria al recibir y acondicionar la señal a través de un Arduino se complementará el proceso educativo recibido durante los años de formación y al representar la variable en un visor digital se lograra crear un entorno de fácil lectura y entendimiento de la medición dentro de la tubería y el mismo proceso.

La implementación del medidor de caudal digital permitirá a los docentes y estudiantes de la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica fortalecer la enseñanza y el aprendizaje en ámbitos de proceso industrial manipulando instrumentos relacionados directamente con la variable medida de este modo se lograra interactuar entre el usuario y el proceso.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Actualmente en los laboratorios de la carrera de Electrónica existe una cantidad limitada de unidades didácticas dedicadas a simular procesos industriales que puedan ser automatizado, mediante tareas de programación, comunicación y control, los módulos existentes que han sido diseñados por ex-estudiantes de la carrera resultan insuficiente para que todos los alumnos puedan familiarizarse y manipular los elementos de medición ,acondicionar la señal y tratarla de manera que se pueda manipular como un proceso real.

La falta de estaciones de procesos que permita manipular variables como caudal imposibilita el desarrollo adecuado de las prácticas que se realizan en automatización y control de procesos se evita la interacción directa entre el estudiante y el proceso.

Si no se implementan equipos de bajo costo con manipulación directa de la variable aplicando los conocimientos recibidos se corre el riesgo de que el estudiante no identifique adecuadamente el funcionamiento del medidor de caudal aplicado en cualquier proceso, a diferencia de los estudiantes que cuentan con laboratorios implementados con todos los elementos de medición quienes tendrán una ventaja por previa manipulación de sensores e instrumentos se logrará con este proyecto brindar la oportunidad del conocimiento previo del funcionamiento del sensor y visor.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Actualmente, la tecnología sigue en desarrollo, renovado cada vez los equipos e instrumentos en el campo de la comunicación industrial.

La medición de caudal a través de un procesador Arduino alcanzara la funcionalidad completa de la interfaz hombre maquina permitiendo al usuario una lectura comprensible a través de un display de cristal líquido (LCD) de la medición del sensor del caudal instalado en la tubería, la programación será

desarrollada con una interpretación en base a los datos obtenidos desde el elemento de medición, estos datos serán procesados y utilizados para generar reportes e informes que servirán a futuro como base para una aplicación por ejemplo de mantenimiento o datos que faciliten la producción.

El resultado del proyecto servirá de motivación para el estudiante al encontrarse con un entorno relacionado directamente con las industrias a donde está enfocado el campo industrial.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

Implementar un medidor de caudal digital mediante Arduino para las prácticas de control de procesos.

1.4.2 Objetivos específicos.

- Describir las características técnicas del sensor de caudal, Arduino, LCD.
- Programar en procesadores de control de bajo costo (Arduino) para implementar el medidor de caudal digital.
- Visualizar en un LCD las mediciones y unidades de caudal obtenidas desde el elemento de medición a través del Arduino.
- Adquirir una señal eléctrica estandarizada desde el sensor de caudal hacia el Arduino.

1.5 ALCANCE.

Este proyecto está dirigido a la carrera de Electrónica Mención Instrumentación y Aviónica de la Universidad de Fuerzas Armadas-ESPE, para la asignatura de Automatización y Control de Procesos, brindando a los estudiantes la familiarización con instrumentos de medición en control de procesos para mejorar sus conocimientos y manipulación con los dispositivos contenidos en el módulo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 Introducción.

Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y la regulación de magnitudes (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.) en condiciones más idóneas de lo que haría el operador. Existen elementos definidos como el elemento de medida, transmisor, controlador, indicador, registrador y elemento final.

La medición de caudal en la industria es de vital importancia, en la gran parte de los procesos existe la necesidad de controlar el caudal, pero para mantener este control lo primero que se debe hacer es medirlo. Existen diferentes técnicas e instrumentos para medir el caudal, la técnica a utilizar dependerá de la necesidad y condiciones en las cuales se encuentre el proceso.

El caudal es una indicación de que tanto fluido en peso o volumen se está moviendo, o sea es que tanta cantidad de fluido está pasando por un determinado punto dentro de un período específico de tiempo.

2.2 Conceptos de sensor, transductor y transmisor.

Los sensores, transductores y transmisores, son quizás las partes más importantes de un sistema de control industrial, se usan tanto en los sistemas de control de procesos como en el control de motores y sistemas de control de movimiento, se encuentran en cada sistema debido a que proporcionan retroalimentación acerca de lo que el sistema está haciendo o que tan bien lo hace y como lo realiza. (Enriquez, 2013)

2.2.1 Sensor.

Se define como un dispositivo que es sensible al movimiento, calor, luz, presión, energía eléctrica, magnética u otro tipo de energía es decir al variar cualquiera de estas magnitudes también varía con cierta intensidad la propiedad, es decir manifiesta la presencia de dicha magnitud y su medida.

2.2.2 Transductor.

Se define como un dispositivo que puede recibir un tipo de energía y convertirlo en otro tipo de energía, esto significa que un transductor puede incluir un sensor para censar la cantidad de presión, por ejemplo, un circuito para convertir la cantidad de presión a una señal eléctrica y transmitirla a un sistema de control eléctrico donde se usa en la variable del proceso o retroalimentación. (Enriquez, 2013)

2.2.3 Transmisor.

Un transmisor es un dispositivo que convierte una señal muy pequeña a una señal más usable, los transmisores para los sensores usados en señales de retroalimentación industrial convierten señales eléctricas pequeñas, tales como mili Voltios, miliamperios, etc. a señales mayores como(**Tabla 1**): (Enriquez, 2013)

Tabla 1

Salida de transmisores:

UNIDAD	SEÑAL ENTREGADA
Voltaje	0-10V
Corriente	4-20mA.
Presión	0-15Psi.

2.3 Variable Caudal.

Es la cantidad de fluido que pasa en una unidad de tiempo. La medida del volumen de líquido que fluye o atraviesa normalmente la sección transversal de un área en una unidad de tiempo. (Marbello Pérez, 2005).

Matemáticamente se expresa así:

$$Q = \frac{\text{volumen de liquido}}{\text{unidad de tiempo}} \quad (1)$$

2.4 Terminología de los procesos de medición de caudal.

La instalación de instrumentos en general y de caudalímetros en particular, se puede llevar a cabo a diferentes niveles .A continuación definiremos los más importantes:

2.4.1 Precisión.

La exactitud se define como “la proximidad a la concordancia absoluta entre el valor medido y el valor real de lo que se mide” es decir en términos cualitativos y no cuantitativos .El término de “precisión “es empleado en lugar del de exactitud, se puede especificar en términos de porcentaje o proporción respecto de la lectura (% v.l.), o en términos de porcentaje respecto al valor de fondo de escala (%v.f.e). (Endress+Hauser, 2005)

2.4.2 Repetibilidad.

La cantidad que caracteriza la capacidad de un contactor de dar indicaciones o respuestas idénticas al repetir una aplicación con los mismos valores de la cantidad medida en las condiciones de trabajo establecidas. (Endress+Hauser, 2005)

2.4.3 Linealidad.

Los caudalímetros se suelen caracterizar por una linealidad de 0,5% o de 1%.Esto significa que la desviación de las respuestas del caudalímetro con respecto a una función ideal lineal que relaciona el caudal real con los valores de salida indicadas por el caudalímetro es menor del 1%. (Endress+Hauser, 2005)

2.4.4 Incertidumbre.

La incertidumbre se define como el rango de valores entre los cuales se halla el valor real con una probabilidad determinada. En la medición de caudales no es posible medir nada con precisión absoluta (es decir, con un error de cero) por que el caudal no es nunca estable. (Endress+Hauser, 2005)

2.4.5 Error.

El error no es más que la diferencia entre el valor de salida La incertidumbre se define como el rango de valores entre los cuales se halla el valor real con una probabilidad determinada. En la medición de caudales no es posible medir nada con precisión absoluta (es decir, con un error de cero) por que el caudal no es nunca estable. (Endress+Hauser, 2005)

2.5 Unidades de medición de Caudal

Las principales unidades que expresan el caudal tanto volumétrico, másico y densidad de caudal son: (Ingemecanica, 2005)

- Caudal Volumétrico.
- Caudal Másico.

2.5.1 Caudal volumétrico.

Es la cantidad de fluido (volumen) que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Unidad Básica Sistema Internacional (S.I.) metros cúbicos por segundo (m^3/s). (**Tabla 2**). (Ingemecanica, 2005)

Tabla 2**Unidades de medición caudal volumétrica:**

UNIDAD	EQUIVALENCIAS
1 ft ³ /h	7,8658·10 ⁻⁶ m ³ /s
1 ft ³ /min	4,7195·10 ⁻⁴ m ³ /s.
1 US gal/hora	1,0515·10 ⁻⁶ m ³ /s.
1 UK gal/hora	1,2628·10 ⁻⁶ m ³ /s.
1 barrel/day	1,8401·10 ⁻⁶ m ³ /s.
1 US gal/min	6,3089·10 ⁻⁵ m ³ /s.
1 UK gal/min	7,5766·10 ⁻⁵ m ³ /s.
1lt/min	1,6667·10 ⁻⁵ m ³ /s.
1 lt/hora	2,7778·10 ⁻⁷ m ³ /s.

Fuente: (Ingemecanica, 2005).

2.5.2 Caudal másico.

Corresponde al flujo másico de una sustancia tal que una cantidad de 1 Kilogramo de masa atraviesa una sección determinada en 1 segundo. Unidad Básica Sistema Internacional (S.I.): (kg/s) (**Tabla 3**). (Ingemecanica, 2005).

Tabla 3**Unidades de medición caudal másico:**

UNIDAD	EQUIVALENCIAS
1 libra/hora (lb/h)	1,2600·10 ⁻⁴ kg/s
1 ton/day (short)	1,0500·10 ⁻² kg/s.
1 ton/day (long)	1,1760·10 ⁻² kg/s.
1 ton/hora (short)	2,5200·10 ⁻¹ kg/s.
1 ton/hora (long)	2,8224·10 ⁻¹ kg/s.

Fuente: (Ingemecanica, 2005)

2.6 Medidores de Caudal.

La medición de caudal es muy importante en el monitoreo y control de procesos, por lo que en la actualidad se debe obtener medidas más precisas en una tubería para esto existen varios sistemas para realizar la medición. (**Tabla 4**)

Tabla 4

Formas de medición de caudal:

Medidores Volumétricos		
Sistema	Elemento	Transmisor
Presión Diferencial	Placa Orificio Tobera Tubo Venturi Tubo Pitot Tubo Annubar	Equilibrio de fuerzas Silicio fundido
Área Variable	Rotámetro	Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de impedancias
Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Transductores ultrasónicos	Potenciométrico Piezoeléctrico
Fuerza	Placa de impacto	Equilibrio de fuerzas Galgas extenso métricas
Tensión Inducida	Medidor Magnético	Convertidor Potencio métrico
Desplazamiento Positivo	Disco Giratorio Pistón Oscilante Pistón Alternativo Medidor Rotativo	Generador tacométrico o transductor de impulsos
Torbellino	Medidor de frecuencia de termistancia o condensador de ultrasonidos	Transductor de resistencia
Vortice	Cuerpo solido	Frecuencia de desprendimiento de los vórtices
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
Fuerza de Coriolis	Medidor Coriolis	Diferencia de Fases

Fuente: (Creus Sole, 2010).

2.6.1 Medidores de caudal tipo Turbina

Los medidores de turbina es un rotor que se coloca en la trayectoria del flujo y gira en función de la fuerza que se le imparte por medio del propio fluido que pasa a través de él con una velocidad que es directamente proporcional al caudal.

Consiste de un juego de paletas o aspas acopladas a un eje, las cuales giran cuando pasa un fluido a través de ellas. La velocidad a la cual giran estas aspas es proporcional a la velocidad del flujo. (Sanhueza, 2009).

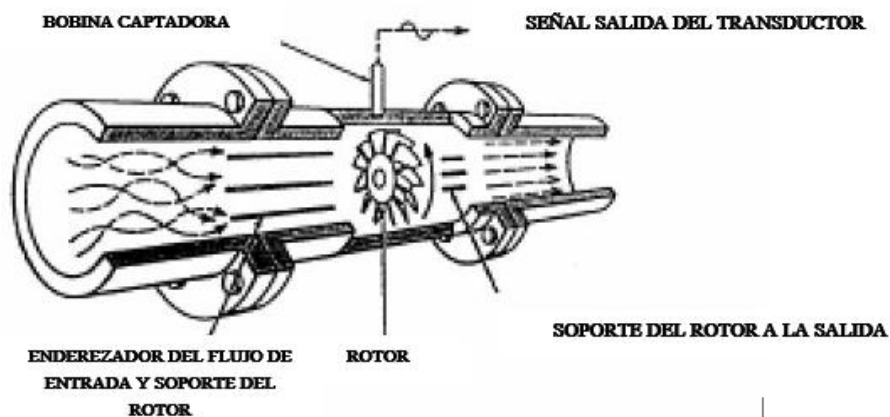


Figura 1. Estructura interna medidor tipo turbina

Fuente: (Sanhueza, 2009).

2.7 Sensor de flujo Savant FS-2000H

Es un detector de caudal, permite mantener bajo vigilancia constante todo tipo de sistemas circulación de fluidos como tipo residencial y comercial de tratamiento de agua, dispensadores y refrigeradores de agua.



Figura 2. Sensor de flujo Savant FS-2000h.

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f)

2.7.1 Principio de funcionamiento sensor FS-2000h.

Es un sensor basado en efecto Hall el cual se basa en la producción de una caída de voltaje a través de un conductor o semiconductor con corriente, bajo la influencia de un campo magnético externo. Para esto es necesario que la dirección del campo magnético sea perpendicular a la dirección de flujo de la corriente por lo que se utiliza para la medición de campos magnéticos o corrientes o para la determinación de la posición. (Perez G. A., 2010)

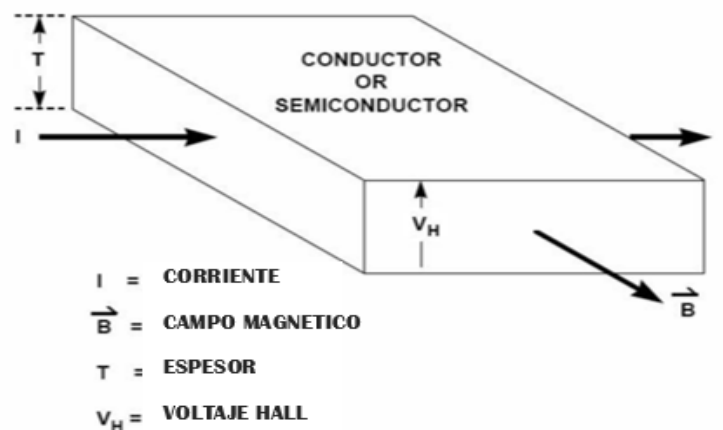


Figura 3. Efecto Hall.

Fuente: (Perez G. A., 2010).

2.7.2 Característica del sensor digital de efecto hall.

La salida de este sensor es digital por tanto tiene una configuración de colector abierto, por lo que necesita una resistencia entre la salida y la alimentación (PULL UP). Al activarse el sensor (en presencia de un campo magnético), el transistor pasara a (ON) absorbiendo la corriente que circula por la carga. Sin campo magnético aplicado al dispositivo, el transistor de salida permanece cortado (OFF).

Es decir al aplicar un campo magnético, perpendicular a la superficie del dispositivo, que está por encima de un valor umbral, el transistor de salida pasa a saturación (ON). Si reducimos ahora el campo magnético, el transistor conmutará para un valor menor que el umbral de conducción. Como vemos

este dispositivo presenta cierta histéresis que previene disparos erróneos. Ver figura 4 sin campo magnético. (Perez M. A., 2014)

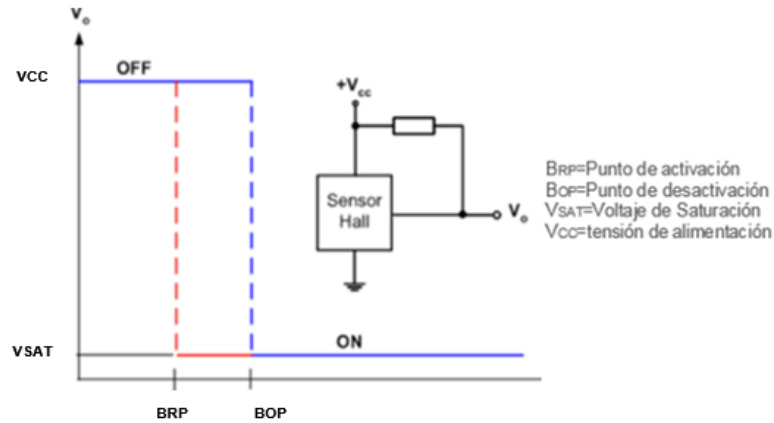


Figura 4. Disparo transistor interno.

Fuente: (Perez G. A., 2010).

2.7.3 Diagrama de pines sensor flujo Savant FS-2000H

Para la conexión del sensor se debe conocer la configuración de los pines de alimentación principales. (Tabla 5)

Tabla 5

Cables de conexión:

COLOR CABLE	DE ALIMENTACIÓN
Rojo	V+
Café	Vout
Negro	GND

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f).

Una configuración de corriente NPN hace una conexión a tierra, o 0 voltios. Esto es suficiente para una señal lógica-0. Mediante la adición de una resistencia de pull-up al colector abierto NPN este pin produce una tensión lógica-1 cuando el transistor NPN se apaga, la resistencia debe conectarse a V+ en el controlador.

El sensor puede ser alimentado de 2.4 a 16 Vcc con una corriente típica 2,8mA, máximo 8mA.

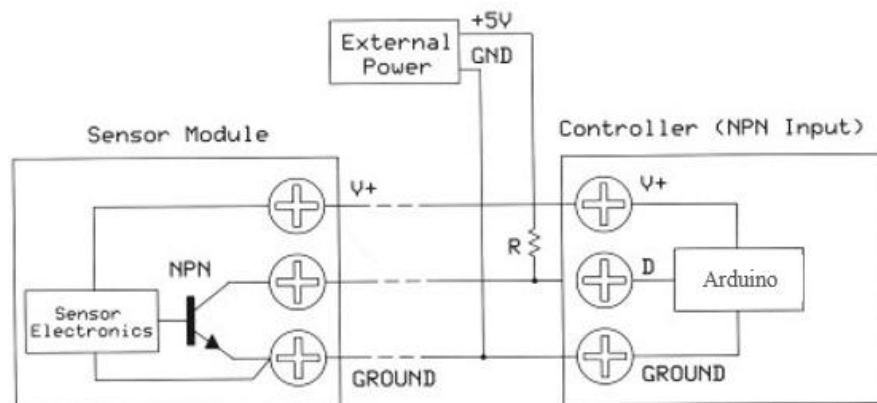


Figura 5. Conexión del sensor FS-2000h.

Fuente: (Perez G. A., 2010).

2.7.4 Instalación del sensor flujo Savant FS-2000H.

El sensor puede montarse en una tubería de 3/8" y también se utiliza acoples para montajes en tubería de 1/2'. Se instala en línea recta con la tubería del proceso, de forma vertical u horizontal ya que la dirección de flujo en este sensor es bi-direccional.

Para la instalación se debe tener en cuenta algunos parámetros necesarios para el correcto funcionamiento.

- Evitar temperaturas altas $>80^{\circ}\text{C}$, así como vibraciones excesivas.
- El sensor necesita de una fuente externa, por lo cual debe existir una fuente de alimentación adecuada y accesible.
- No sobrepasar en la tubería una presión de 6.0 bar (85 Psi).
- Al cumplir la vida operativa del sensor de 300.000 litros es necesario reemplazarlo para evitar posibles fallos en la medición del proceso.
- En un flujómetro volumétrico la tubería debe siempre estar llena.

2.7.5 Calibración sensor flujo Savant FS-2000H.

El sensor al tener un flujo bidireccional debe ser calibrarlo de dos formas según sea su conexión horizontal o vertical ya que según la colocación la velocidad de flujo varia.

Tabla 6

Velocidad del flujo por posición del sensor.

Posición	Flujo mínimo	Flujo máximo
Horizontal	1.50 lpm	14.2 lpm
Vertical	1.00 lpm	14.2 lpm

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f).

2.7.5.1 Datos de calibracion horizontal.

La calibración de este sensor se lo hace mediante software por lo que hay que tener en cuenta la posición del sensor y la cantidad de flujo máximo y mínimo (**Tabla 7**) que pasara por nuestra tubería para tener el menor cambio posible en la magnitud de entrada.

Tabla 7

Calibracion en montaje horizontal.

Velocidad de flujo (liter/min)	Resolución (litro por pulso)
1.5 – 2.0	0.0042
2.0 – 6.0	0.0040
6.0 -14.0	0.0038

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f).

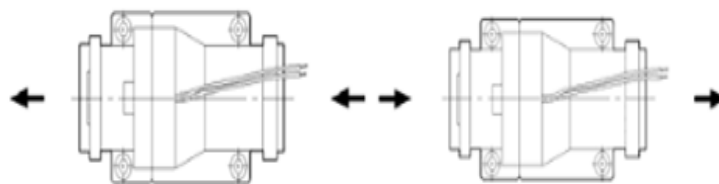


Figura 6. Dirección horizontal del sensor.

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f)

2.7.5.2 Datos de calibración vertical.

Tabla 8

Calibración en montaje vertical.

Velocidad de flujo (liter/min)	Resolución (litro por pulso)
1.0 – 1.5	0.0041
1.5 – 2.0	0.0040
2.0 – 6.0	0.0040
6.0 -14.0	0.0038

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f).

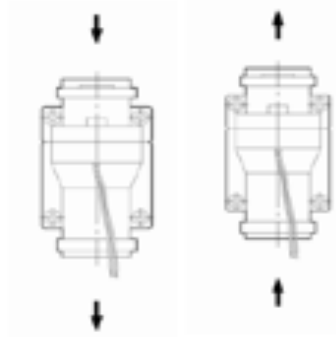


Figura 7. Dirección vertical del sensor.

Fuente: (Savant Electronics Inc, s.f)

2.8 Ventajas e Inconvenientes sensores tipo turbina.

2.8.1 Ventajas.

- Ofrecen una excelente repetibilidad a corto plazo.
- Algunos modelos presentan un amplio campo de valores de medida y un buen comportamiento lineal.
- Disponen de salida digital tanto para la cantidad total de caudal como para la velocidad de fluido.
- Hay modelos de diseño compacto para velocidades de caudal establecidas
- Ofrecen alta exactitud en determinadas condiciones (de campo de valores de medida de viscosidad.)

- La temperatura y la presión no imponen virtualmente límites de usabilidad.
- Alta fidelidad y resultados positivos en aplicaciones de fluidos lubricantes.
- Permiten la medición con fluidos agresivos y fluidos no conductores, incluidos los gases.
- Perdidas de cargas bajas.
- Ofrecen una respuesta puntual excelente. (Endress+Hauser, 2005)

2.8.2 Desventajas.

- Requieren tramos de entrada y de salida largos(20 veces el diámetro nominal para los tramos de entrada y 5 veces para los de salida, respectivamente)
- Los vórtices en el flujo les afectan fácilmente (esta situación se puede rectificar con acondicionadores de flujo).
- El desgaste de los pivotes (en general, por velocidades del fluido demasiado altas) causa desviaciones en la ejecución de estos caudalímetros y reduce su vida operativa.
- Los modelos de pequeño tamaño presentan limitaciones en su campo de valores de medida.
- Los fluidos pulsantes afectan a su correcto funcionamiento .En general, los valores dados por el caudalímetros en estos casos suelen ser demasiado altos.
- Si el fluido contiene partículas sólidas intrusas (caída de presión) es necesario un filtro corriente arriba.
- Todo el equipo ha de estar perfectamente limpio antes de iniciar en el sistema (eliminar las virutas de soldadura, etc.) (Endress+Hauser, 2005)

2.9 Exactitud de los sensores tipo turbina.

Los contadores de turbina pueden alcanzar una exactitud de menos del 0,2% si los valores de la viscosidad se mantienen en un estrecho margen

.No obstante, el error de medición tiende a ser superior para el extremo inferior de campo de valores de la velocidad del fluido

Si la viscosidad se aparta de las condiciones de calibración, los efectos sobre la exactitud de la medición son significativas y hay que volver ajustar el valor de calibración. (Endress+Hauser, 2005)

2.10 Bomba sumergible.

Una bomba sumergible empuja el agua a la superficie convirtiendo la energía rotatoria en energía cinética y energía de presión. Esto se hace por el agua que se tira en la bomba: primero en la toma, donde la rotación del impulsor empuja el agua a través del difusor. De allí, va a la superficie. (Alguapres, 2017)

2.10.1 Partes de la bomba sumergible.

Una bomba sumergible es una bomba que puede ser totalmente sumergida en agua por lo que sus piezas deben ser aisladas del agua. El motor se cierra herméticamente y se acopla con el cuerpo de la bomba. (Alguapres, 2017)

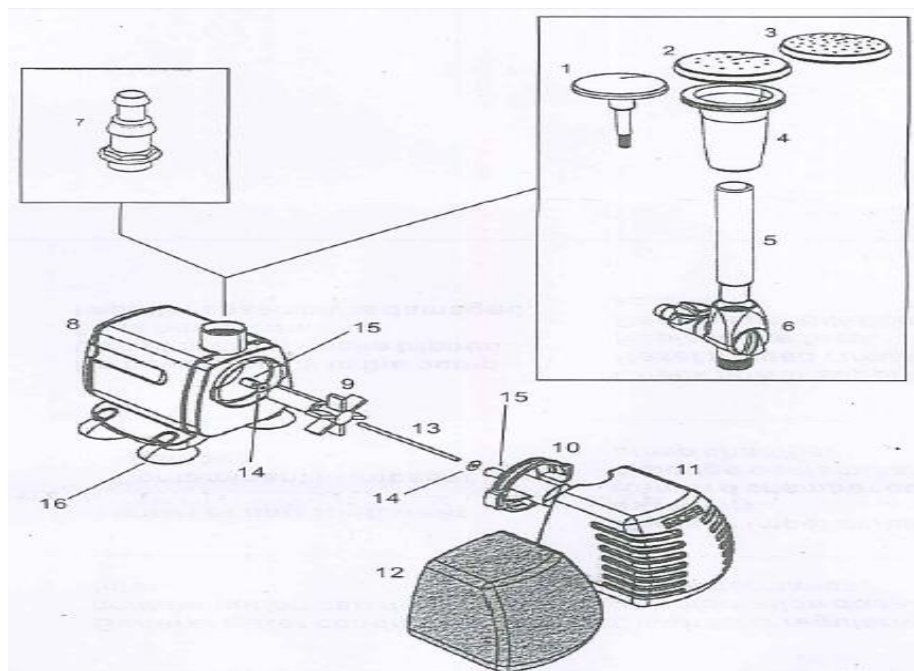


Figura 8. Partes bomba sumergible.

Fuente: (JAD AQUARIUM, 2008)

Tabla 9**Descripcion de partes de la bomba.**

# Nro.	NOMBRE DE LA PARTE
1	Cabeza de seta
2	Impulsores con menos orificios
3	Impulsores con más orificios
4	Base de boquilla
5	Tubo de fuente largo
6	Válvula de ajuste de flujo
7	Unión de tubo de salida
8	Motor del cuerpo principal
9	Impulsor
10	Cubierta de entrada
11	Tapa del filtro
12	Filtro de algodón bioquímico
13	Ballesta
14	Cojín
15	Tapa de goma del eje
16	Placa de fijación

2.10.2 Ventajas de las bombas sumergibles.

Entre las principales ventajas de las bombas centrífugas se puede destacar:

- Las bombas sumergibles tienen una gran ventaja sobre las externas: consumen menos electricidad.
- Estas bombas poseen bajo caudal y son compactas.
- Proporciona una fuerza de bombeo significativa pues no depende de la presión de aire externa para hacer ascender el líquido.
- Nunca tiene que ser cebada, porque ya está sumergida en el fluido, son muy eficientes porque realmente no tienen que gastar mucha energía en movimiento de agua.
- Son silenciosas, porque están bajo el agua, y la cavitación nunca es un problema. (JAD AQUARIUM, 2008).

2.10.3 Funcionamiento.

- Cuando el interruptor de presión se activa, se envía una corriente eléctrica a través de un cable a la bomba de agua sumergible.
 - Los impulsores contenidos dentro del cuerpo de la bomba comienzan a girar. La rotación de estos absorbe el agua hacia el cuerpo de la bomba. Los impulsores luego presionan el agua hacia afuera de la bomba y a través de la cañería hacia el tanque de agua.
 - Un interruptor de presión se desactiva, la corriente deja de hacer funcionar la bomba de agua sumergible, los impulsores dejan de girar y la bomba ya no presiona agua hacia la superficie.
 - Un sistema de sellos mecánicos se utiliza para prevenir que el líquido que se bombea entre en el motor y cause un cortocircuito.
 - La bomba se puede conectar con un tubo, manguera flexible.
- (JAD AQUARIUM, 2008)

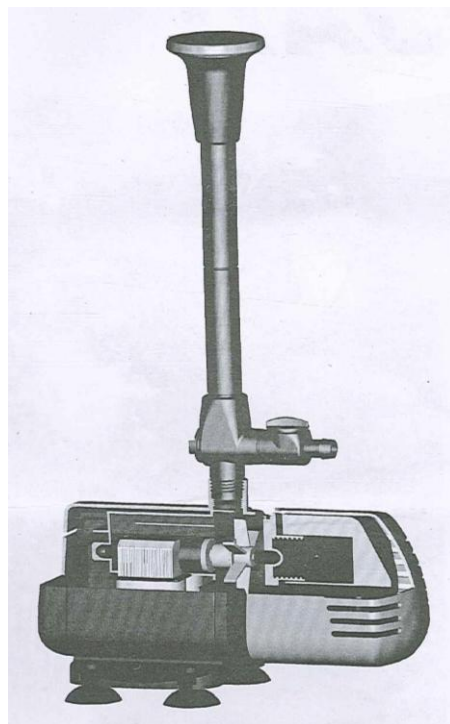


Figura 9. Bomba sumergible, disposición y perspectiva

Fuente: (JAD AQUARIUM, 2008)

2.10.4 Cavitación.

Es uno de los problemas más graves que afectan a las bombas, consiste en la implosión de burbujas de vapor (huecos) formadas en la entrada al rodete como consecuencia de un vacío parcial local por debajo de la presión de evaporación del líquido a transportar, el colapso instantáneo de las burbujas de vapor genera elevadísimas presiones que igualan a la tensión de valor del líquido. La cavitación origina pérdidas de potencia (altura de presión), ruidos, reducción del rendimiento y daños materiales (en el interior de la bomba). (Bombas ideal, 2008)

Una magnitud importante para una bomba es el valor NPSH (Altura Neta Positiva en la Aspiración), este indica la mínima presión que se necesita en la entrada para que la bomba trabaje sin cavitación. (Martin, 2012)

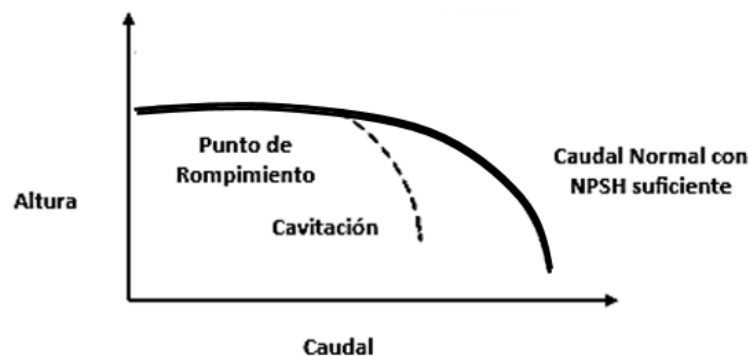


Figura 10. Efecto de la cavitación en la capacidad de la bomba

Fuente: (Martin, 2012)

a. Causas de la cavitación.

- La vaporización consiste en un crecimiento explosivo de una burbuja de vapor dentro de un líquido cuyo resultado es una vaporización local del líquido.
- La recirculación interna se produce por bajo flujo de bombeo, el flujo exacto donde ocurre la recirculación es la succión o descarga de la bomba depende del diseño del impulsor

- La turbulencia en el flujo es el movimiento de un fluido que se da en forma caótica, en que las partículas se mueven desordenadamente y las trayectorias de las partículas se encuentran formando pequeños remolinos aperiódicos, (no coordinados) (Fernández Losa, 2015).

b. Efectos de la cavitación.

- Ruidos y golpeteos en la tubería.
- Vibraciones la bomba no está operando correctamente en su equilibrio apropiado, está sujeta a tensiones dentro de la máquina que causan desviaciones y un prematuro desgaste de sellos y rodamientos. (Fernández Losa, 2015)
- Erosiones del material un proceso de daño material, como resultado de cavitación por vapores. El daño es resultado de la acción de “martilleo” cuando las burbujas imploran en el flujo del sistema. La Ultra alta presión causada por el colapso de la burbuja, produce deformación, falla del material y finalmente la erosión de la superficie. (NORIA, 2015).

2.11 Electroválvula Proporcional.

Este tipo de válvulas regula la presión y el caudal a través de un conducto por medio de una señal eléctrica, que puede ser de corriente o de voltaje, su principal aplicación es el control de posición y de fuerza, ya que los movimientos son proporcionales y de precisión, lo que permite un manejo más exacto de paso de fluidos. (INACAP)



Figura 11. Válvula proporcional.

Fuente: (BELIMO, 2015)

2.11.1 Control proporcional.

El control proporcional, como su nombre lo indica el paso de un fluido se lo realiza en forma proporcional mediante la variación de una señal eléctrica de voltaje y corriente que permite variar la posición del eje de apertura y cierre del fluido en una válvula, logrando con esto la variación de presión o el caudal dependiendo de la aplicación a la que se encuentre sometido.

En el control proporcional se pueden lograr variaciones del 0% al 100% de la presión o caudal de entrada, al igual que los sistemas hidráulicos deben tener bien reguladas las protecciones para salvaguardar los elementos, equipos y el área en la que actúan los elementos. (INACAP)

2.11.2 Ventajas de las válvulas proporcionales.

- Control variable indefinido de máquinas y control de velocidad en actuadores.
- Control por multietapas.
- Incrementar la flexibilidad de las máquinas.
- Velocidades constantes independientes de la carga, con la ayuda de un módulo de control.
- Eliminación de cortes de flujo en algunas etapas de velocidad en sistemas de operación con las válvulas normales.
- Simplifica los costos de los sistemas hidráulicos.
- Reduce el número de tuberías, conexiones y accesorios.
- Reducción del tamaño y espacio de los sistemas hidráulicos

2.11.3 Válvula TR24-SR.

El modo de operación de esta válvula se conecta con una señal de modulación estándar de DC 0.....10V y así viaja a la posición definida por la señal de posicionamiento. (BELIMO, 2015)

a. Diagrama de cableado.

AC/DC 24V modulado.

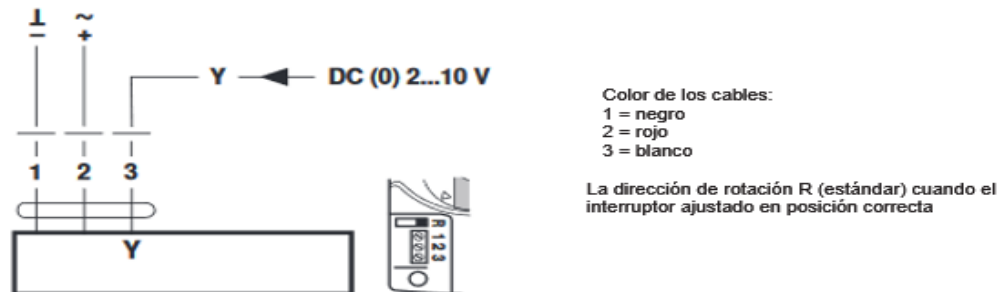


Figura 12. Diagrama de conexión.

Fuente: (BELIMO, 2015)

b. Golpe de Ariete.

Este fenómeno se produce al cerrar o abrir una válvula y al poner en marcha o parar una máquina hidráulica, o también al disminuir bruscamente el caudal. Al cerrarse por completo una válvula se origina una onda de presión que se propaga con una cierta velocidad (el líquido no es estrictamente un fluido incompresible). Esta onda origina una sobrepresión que se desplaza por la tubería, causando dos efectos: (Fernández Losa, 2015)

- Comprime ligeramente el fluido.
- Dilata ligeramente la tubería.

2.12 Pantalla líquida de cristal LCD.

El LCD (Liquid Crystal Display) o pantalla de cristal líquido es un dispositivo empleado para la visualización de contenidos o información de una forma gráfica, mediante caracteres, símbolos o pequeños dibujos dependiendo del modelo. Está gobernado por un microcontrolador el cual dirige todo su funcionamiento. (TodoElectrodo, 2013).

En este caso vamos a emplear un LCD de 16x2, esto quiere decir que dispone de 2 filas de 16 caracteres cada una. Los píxeles de cada símbolo o carácter, varían en función de cada modelo

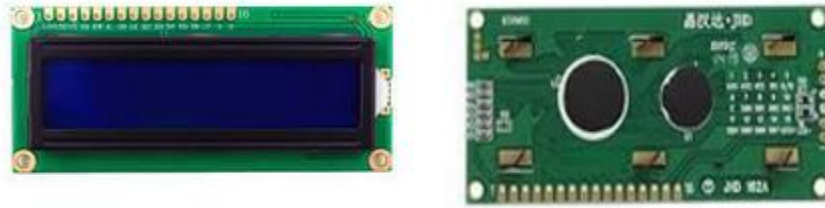


Figura 13. LCD 16x2.

Fuente: (TodoElectrodo, 2013)

2.12.1 Pines de alimentación.

Lo podemos dividir en los Pines de alimentación, pines de control y los pines del bus de datos bidireccional. Por lo general podemos encontrar además en su estructura los pines de Ánodo de led backlight y cátodo de led backlight (TodoElectrodo, 2013).

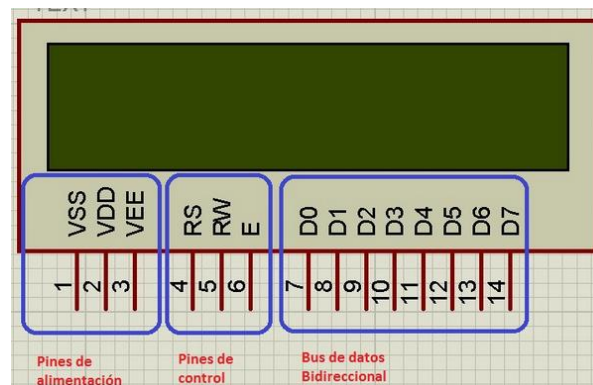


Figura 14. Diagrama de conexión.

Fuente: (TodoElectrodo, 2013)

Tabla 10

Pines de alimentacion.

PIN	FUNCIÓN
Vss	Gnd.
Vdd	+5 voltios
Vee	Contraste regulación mediante potenciómetro de 10k conectado a Vdd

Tabla 11

Pines de control.

PIN	FUNCIÓN
RS	Pin de selección de registro de control de datos(0) o registro de datos (1)
RW	Pin de escritura (0) o de lectura (1).Permite escribir un dato en la pantalla o leer un dato.
E	Pin de habilitación

- **RS (Selección de Registro):** Es decir el pin RS funciona paralelamente a los pines del bus de datos. Cuando RS es 0 el dato presente en el bus pertenece a un registro de control/instrucción. y cuando RS es 1 el dato presente en el bus de datos pertenece a un registro de datos o un carácter.
- **RW (Registro de escritura/lectura):** Nos permite escribir un dato en la pantalla o leer un dato desde la pantalla.
- **E (Enable):** Si E (0) esto quiere decir que el LCD no está activado para recibir datos, pero si E (1) se encuentra activo y podemos escribir o leer desde el LCD. (TodoElectrodo, 2013)

a. Pines de Bus de datos

- El Bus de datos bidireccional comprende desde los pines D0 a D7. Para realizar la comunicación con el LCD podemos hacerlo utilizando los 8 bits del bus de datos (D0 a D7) o empleando los 4 bits más significativos del bus de datos (D4 a D7). En este caso vamos a explicar la comunicación con el bus de 4 bits. (TodoElectrodo, 2013)

2.13 Arduino.

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios proporciona un software consistente en un entorno de desarrollo (IDE) que implementa el lenguaje de

programación de Arduino y el bootloader ejecutado en la placa. La principal característica del software de programación y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso. (Arduino.cl, 2018)



Figura 15. Placa Arduino UNO.

Fuente: (Arduino.cl, 2018)

2.13.1 Pines de conexión.

Los Arduinos y en general los microcontroladores tienen puertos de entrada y salida y de comunicación. En Arduino podemos acceder a esos puertos a través de los pines.

- **Pines digitales:** pueden configurarse como entrada (para leer, sensores) o como salida (para escribir, actuadores)
- **Pines analógicos de entrada:** usan un convertor analógico/digital y sirven para leer sensores analógicos como sondas de temperatura.
- **Pines analógicos de salida (PWM):** la mayoría de Arduino no tienen convertor digital/analógico y para tener salidas analógicas se usa la técnica PWM. No todos los pines digitales soportan PWM.
- **Puertos de comunicación:** USB, serie, I2C
- **SRAM:** donde Arduino crea y manipula las variables cuando se ejecuta. Es un recurso limitado y debemos supervisar su uso para evitar agotarlo.
- **EEPROM:** memoria no volátil para mantener datos después de un reset o apagado. Las EEPROMs tienen un número limitado de lecturas/escrituras, tener en cuenta a la hora de usarla.

- **Flash:** Memoria de programa. Usualmente desde 1 Kb a 4 Mb (controladores de familias grandes). Donde se guarda el sketch. (Arduino.cl, 2018)

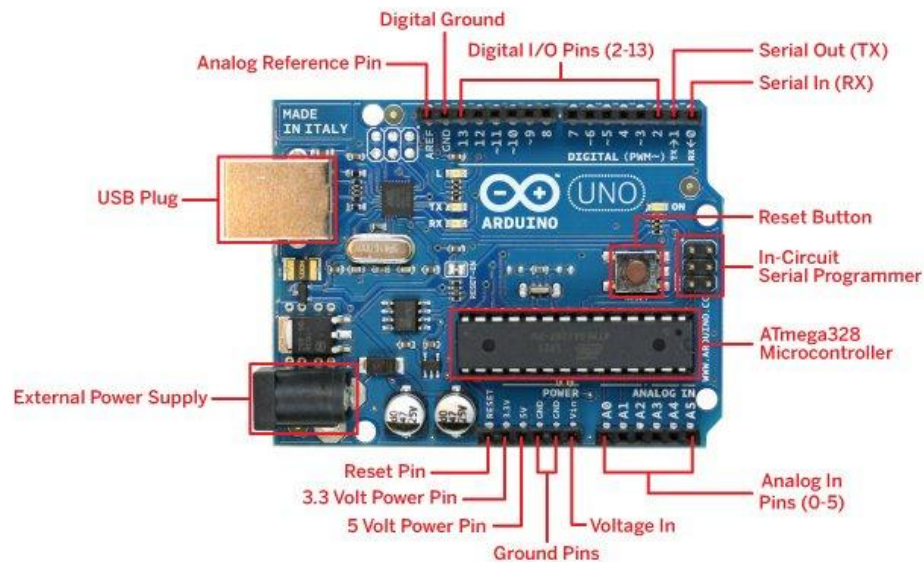


Figura 16. Partes placa Arduino.

Fuente: (Arduino.cl, 2018)

2.13.2 Ventajas.

- **Barato:** Las placas Arduino son relativamente baratas comparadas con otras plataformas microcontroladoras.
- **Multiplataforma:** El software de Arduino se ejecuta en sistemas operativos Windows, Macintosh OSX y GNU/Linux.
- **Entorno de programación simple y claro:** El entorno de programación de Arduino es fácil de usar para principiantes, pero suficientemente flexible para que usuarios avanzados puedan aprovecharlo también.
- **Código abierto y software extensible:** El software Arduino está publicado como herramientas de código abierto, disponible para extensión por programadores experimentados.
- **Código abierto y hardware extensible:** está basado en microcontroladores ATMEGA8 y ATMEGA168 de Atmel. por lo que diseñadores

experimentados de circuitos pueden hacer su propia versión del módulo. (Arduino.cl, 2018)

2.14 Controlador lógico programable PLC.

Es un dispositivo que está diseñado para la automatización, el control de una máquina o proceso industrial, en base a una lógica determinada que se define a través de un programa.



Figura 17. Diagrama de bloques ciclo cerrado.

2.14.1 PLC S7-1200.

El (PLC) S7-1200 ofrece flexibilidad y capacidad de controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas tareas de automatización. Gracias a su diseño compacto, configuración flexible y amplio juego de instrucciones es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación integrada, así como circuitos de entrada y salida en una carcasa compacta, conformando así un potente PLC (SIEMENS, Manual del Sistema SIMATIC S7-1500., 2009).

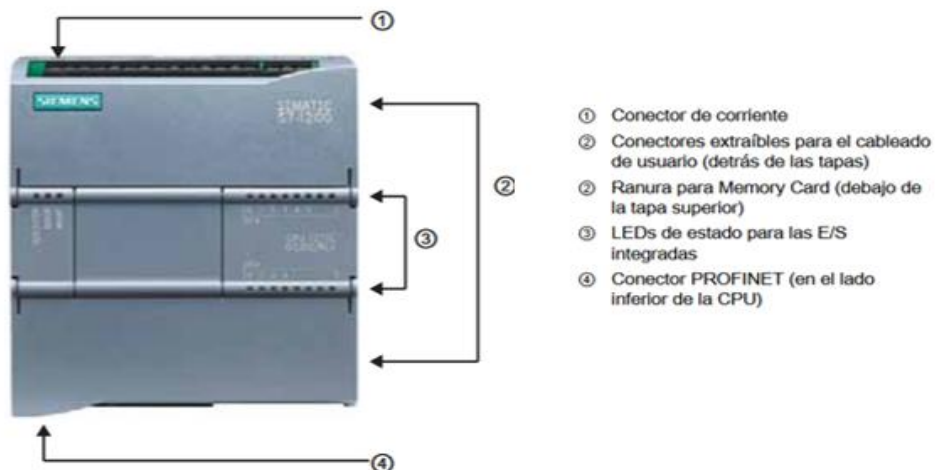
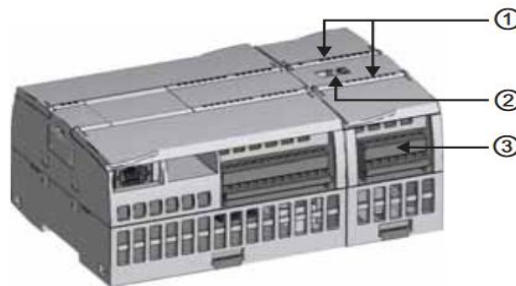


Figura 18. Configuración de un sistema de automatización S7-1200

Fuente: (SIEMENS, Manual del Sistema SIMATIC S7-1500., 2009)

2.14.2 Módulos de salidas analógicas.

Los módulos de señales se pueden utilizar para agregar funciones a la CPU. Los módulos de señales se conectan a la derecha de la CPU (SIEMENS, Manual del Sistema SIMATIC S7-1500., 2009).



- ① LEDs de estado para las E/S del módulo de señales
 ② Conector de bus
 ③ Conector extraíble para el cableado de usuario

Figura 19. Módulo de señal para PLC S7-1200

Fuente: (SIEMENS, Manual del Sistema SIMATIC S7-1500., 2009).

2.14.3 Datos técnicos del módulo de señales analógicas SM 1232.

El PLC S7-1200 posee módulos de salidas analógicas con las siguientes características (Tabla 12)

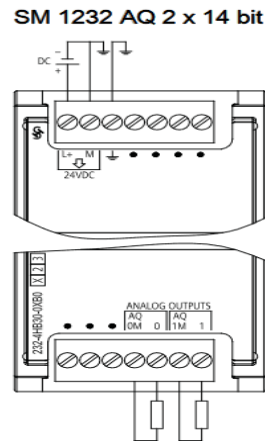


Figura 20. Pines de conexión del módulo SM1232.

Fuente: (SIEMENS, Manual del Sistema SIMATIC S7-1500., 2009).

Tabla 12

Datos técnicos SM-1232.

DATOS TECNICOS	MODELO SM 1232 AQ 2x14bit
Referencia	6ES7 232-4HB30-0XB0
Dimensiones	45X100X75
Peso	180 gramos
Disipación de corriente	1,5 W
Consumo de corriente (bus SM)	80 mA
Consumo de corriente (24 VDC)	45 mA (sin carga)
Número de Salidas analógicas	2
Tipo	Tensión o intensidad
Rango	+/_ 10 V o 0 a 20 mA
Resolución	Tensión 14 bits :intensidad 13 bits
Rango total(palabra de datos)	Tensión :27.648 a 27.648 ;intensidad 0 a 27.648

Fuente: (SIEMENS, Manual del Sistema SIMATIC S7-1500., 2009).

2.14.4 Comunicación Ethernet.

Ethernet/IP es un protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial. Basado en los protocolos estándar TCP/IP, utiliza los ya bastante conocidos hardware y software Ethernet para establecer un nivel de protocolo para configurar, acceder y controlar dispositivos de automatización industrial. Ethernet/IP clasifica los nodos de acuerdo a los tipos de dispositivos preestablecidos, con sus actuaciones específicas. Ethernet/IP ofrece un sistema integrado completo, enterizo, desde la planta industrial hasta la red central. (SIEMON, 2018)

2.15 HMI

El Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es el interfaz entre el proceso y los operarios; se trata básicamente de un panel de instrumentos del operario. Es la principal herramienta utilizada por operarios y supervisores de línea para coordinar y controlar procesos industriales y de fabricación. El HMI traduce variables de procesos complejos en información útil y procesable.

La función de los HMI consiste en mostrar información operativa en tiempo real y casi en tiempo real. (Wonderware, 2018)

2.15.1 Pantalla SIEMENS KTP-600 Basic.

Al hablar de un proceso o control se requiere visualización de forma estándar en sistemas minúsculos o aun en aplicaciones sencillas por lo cual se implementa un HMI, la gama de Pantallas SIMATIC HMI Basic panel (**Figura 21**) ofrece la funcionalidad básica para realizar un HMI por su funcionalidad y versatilidad.

La pantalla posee una resolución de 320x240 pixeles, memoria de 512KB, 6 teclas de función en pantalla y utiliza una interfaz Ethernet para su programación se utiliza software de programación compatible como lo es Basic TIA PORTAL. (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)



Figura 21. TOUCH KTP -600 MONO PN

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)

2.15.2 Componentes de la Pantalla SIEMENS KTP-600 Basic.

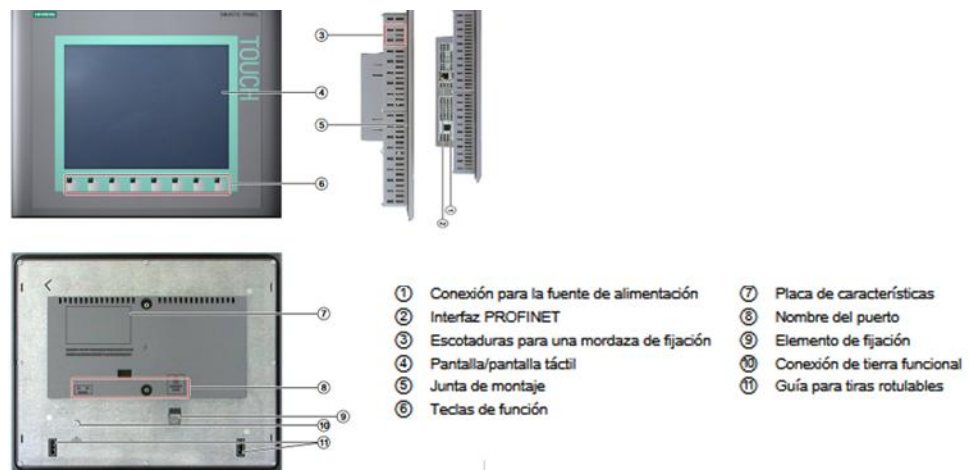


Figura 22. Parte del TOUCH KTP -600 MONO PN

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)

En la **(tabla 13)** se describe las principales características y funciones de la Ktp-600.

Tabla 13

Características del KTP-600.

Funciones	KTP-600 mono PN
Visualización	5.7 pulgadas
Resolución	320 x 240 px
Elementos de Control	TOUCH SCREEN / 6 teclas de función de pantalla
Memoria de Usuario	512 KB
Interfaces	1 x RJ 45 Ethernet para PROFINET
Software de configuración	WinCC.Basic TIA PORTA

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)

2.16 TIA PORTAL.

El software totally Integrated Automation Portal (TIA) proporciona el entorno de trabajo para la programación del PLC SIEMENS y la TOUCH PANEL ,siendo una herramienta de ingeniería que combina sistemas modernos como SIMATIC STEP 7 ,SIMATIC WinCC y SINAMICS dando como resultado una mayor eficacia en el desarrollo de proyectos.Es un software con interfaz intuitiva para el usuario ,completa transparencia de datos ,el software facilita la etapa de diseño ,puesta en marcha, operación ,mantenimiento y la actualización de soluciones de automatización, (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012).

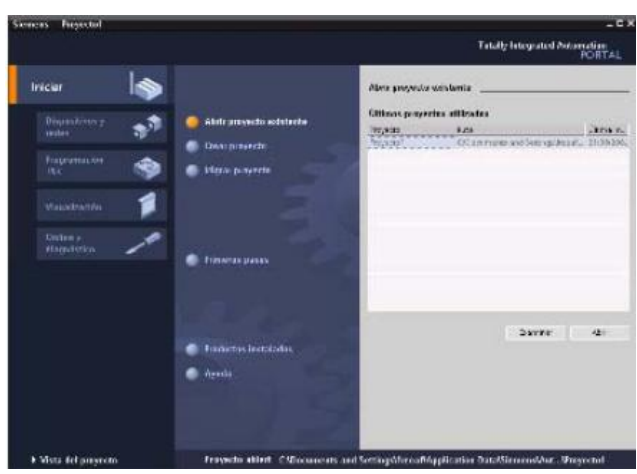


Figura 23.Software TIA PORTAL

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)

2.16.1 Características TIA PORTAL.

- Soporte para controladores S7-1500 y S7-1200.
 - Capacidad de trabajar con varios desarrolladores en un mismo proyecto.
 - Búsqueda automática de actualizaciones de software.
 - Desarrollo de lenguajes de programación LAD, FBD, STL, SCL y gráfico.
 - Una interfaz de usuario común para todas las tareas de automatización con servicios comunes (ej. Configuración, comunicación, diagnóstico).
 - Base de datos única: Datos automáticos y consistencia.
 - Potentes librerías con todos los objetos de automatización.
 - Manejo simultáneo de todos los drivers de comunicación.
- (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)

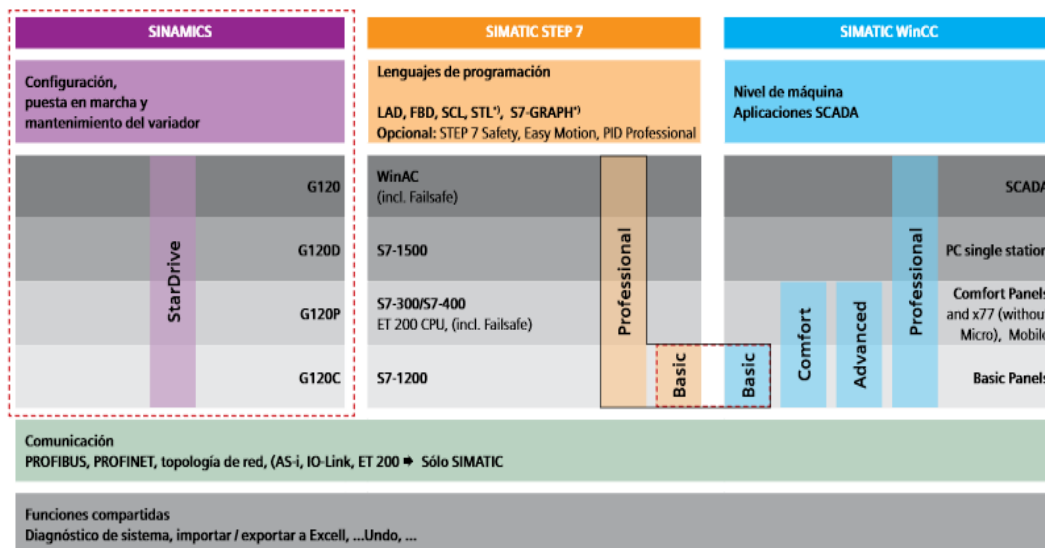


Figura 24. Vision general SIMATIC

Fuente: (SIEMENS, SIMATIC HMI , 2012)

2.17 Circuito Amplificador LM 358

El Amplificador operacional doble de propósito general, no requiere fuente dual, alta ganancia, bajo consumo de potencia, ancho de banda 0.7 MHz. Encapsulado DIP de 8 pines. Posee dos circuitos independientes que se encuentran dentro del encapsulado que compensan la frecuencia del amplificador operacional. (Caldas, 2013)

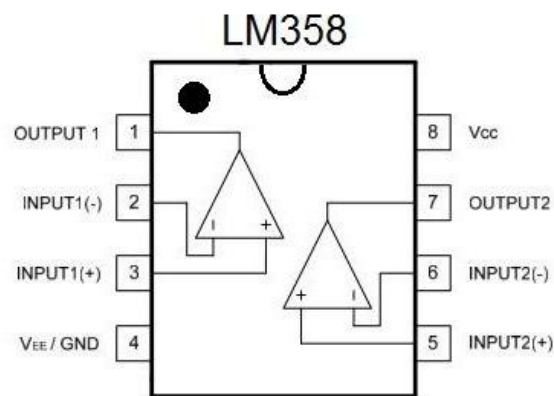


Figura 25.Diagrama de pines LM 358

Fuente: (Caldas, 2013)

2.17.1 Características generales LM 358.

Tabla 14

Características Eléctricas LM 358 .

Características	Valor
Voltaje de Entrada	3 a 32V
Cortocircuito para GND	40 min y 60 tip
Ganancia de voltaje	Min 25 V
Entrada de corriente	5-max 50
Voltaje de aprovisionamiento	16-32V

Fuente: (Caldas, 2013)

CAPÍTULO III

IMPLEMENTACIÓN DEL MEDIDOR DE CAUDAL DIGITAL MEDIANTE ARDUINO

3.1 Introducción

El desarrollo de este capítulo se basa en la implementación del medidor de caudal digital, instalación y medición con el sensor Savant FS-2000H, conexión eléctrica del panel, programación del PLC S7-1200 y de la KTP-600 para enviar una variación de voltaje hacia la electroválvula que proporcione un cambio en el porcentaje de la apertura y cierre para visualizar y controlar el flujo de líquido que atraviesa por la tubería.

Este transmisor se va implementar en el módulo LTQM-001 (Modulo de Nivel, Temperatura y Caudal -001), ubicado en el laboratorio de control de procesos que permite realizar el proceso de vaciado calentado y llenado de un tanque de agua para la simulación de un proceso industrial.

Los dispositivos empleados para el desarrollo del medidor de caudal digital son:

- Bomba Electro - sumergible
- Sensor de flujo Savant FS-2000 H
- Arduino UNO
- LCD 16X2
- Modulo Amplificador
- PLC S7-1200
- Touch KTP-600 MONO PN
- Electroválvula TR-24.

3.2 Especificación y requisitos del sistema.

La estación de caudal posee dos tanques de metal de forma rectangular y la tubería que conecta estos tanques es de plástico PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada.

- El primer tanque T-001 o tanque de proceso con medidas de 20 cm de ancho x 40 cm de largo con capacidad de 13 litros.
- El segundo tanque T-002 o tanque de producción final de 40 cm de ancho x 24,5 cm de largo con una capacidad máxima de 25 litros.
- También posee un tercer tanque T-003 o reservorio, de material plástico de una capacidad de 45 litros con una base inferior de 45cm, una altura de 42cm de ancho.

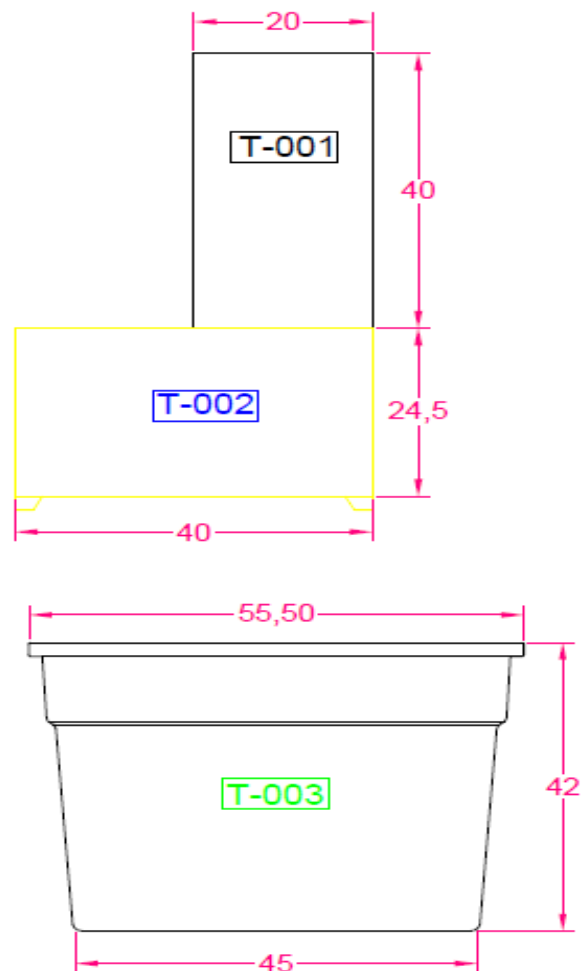


Figura 26. Disposición de tanques módulo LTQM-001

Para medir la variable caudal se utiliza un sensor de flujo Savant FS-2000H instalado en la línea de descarga de la bomba P-001, se conecta a un Arduino UNO que recibe la señal de pulsos generada por el sensor y mediante programación genera una señal estándar de voltaje con un rango de (0-5V) que va hacia un circuito amplificador, el cual entrega una señal de (0-10V), la señal se conecta al PLC y el voltaje va hacia la electroválvula para manipular el paso del fluido por la tubería.

Para una mejor lectura y análisis de la variable se visualiza en un LCD la unidad estándar litros por minuto, (L/min) además de un HMI programado en la TOUCH SCREEN para la visualización en su totalidad de la variable y la configuración del porcentaje de apertura y cierre de la electroválvula.

3.3 Diagrama de bloques, P&ID del sistema.

3.3.1 Diagrama de bloques.

En la **(figura 26)** se muestra en bloques el sistema de medición de caudal. La medición del estado de la variable se realiza mediante el sensor de flujo Savant FS-2000H. Para realizar la configuración del flujo se utiliza un PLC SIEMENS S7-1200 quien mediante sus módulos de salidas analógicas permite obtener la señal enviada desde el Arduino y entregar la señal de variación hacia la electroválvula que se abrirá o cerrará dependiendo del voltaje enviado, se implementa un HMI con una KTP-600, que muestra la variable en su totalidad y con opción de modificar el porcentaje para apertura y cierre de la electroválvula.

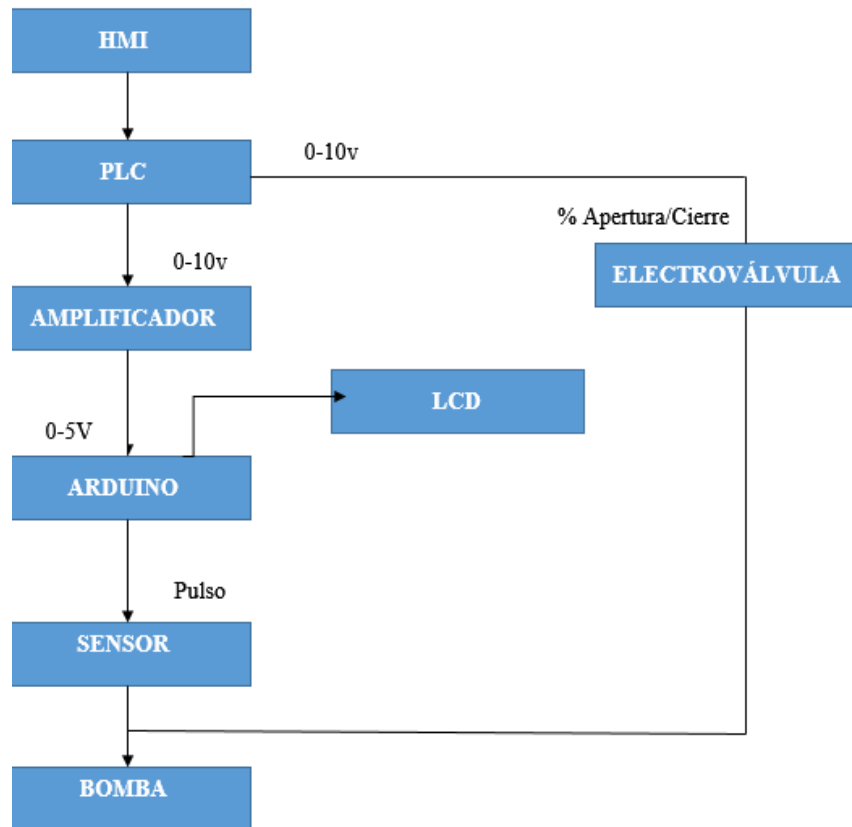


Figura 27.Diagrama de bloques de la estación

- HMI: Representa la Interfaz Humano Maquina (KTP-600 Mono PN), donde el usuario puede visualizar los valores de la variable de caudal en tiempo real y configurar el porcentaje de apertura y cierre de la electroválvula.
- PLC: Es la base principal del sistema, encargado de realizar las funciones principales y gestión de comunicación con el HMI del sistema.
- Módulos de entradas y salidas analógicas : son módulos del PLC para proporcionar un vínculo entre la CPU del PLC y el dispositivo que recibe y entrega la señal de la variable caudal (Arduino)
- ECF: El elemento de control final de caudal (ElectrovalvulaTR-24SR) que controla la apertura y cierre de forma proporcional logrando cambiar el flujo de agua que circula por la tubería.

- Sensor es el elemento primario que se encuentra en contacto con la variable física que junto al Arduino convierte la señal del sensor a una señal eléctrica para posteriormente ser estandarizada y enviada al controlador.
- Transmisor: es el encargado de tomar el valor del sensor (Arduino) dado por la variable del proceso y transmitida mediante una señal estándar de corriente o voltaje.

3.3.2 Diagrama P&ID.

En la **(figura 26)** se muestra en el plano P&ID del sistema de caudal diseñado según normas ANSI/ISA-S5.1.

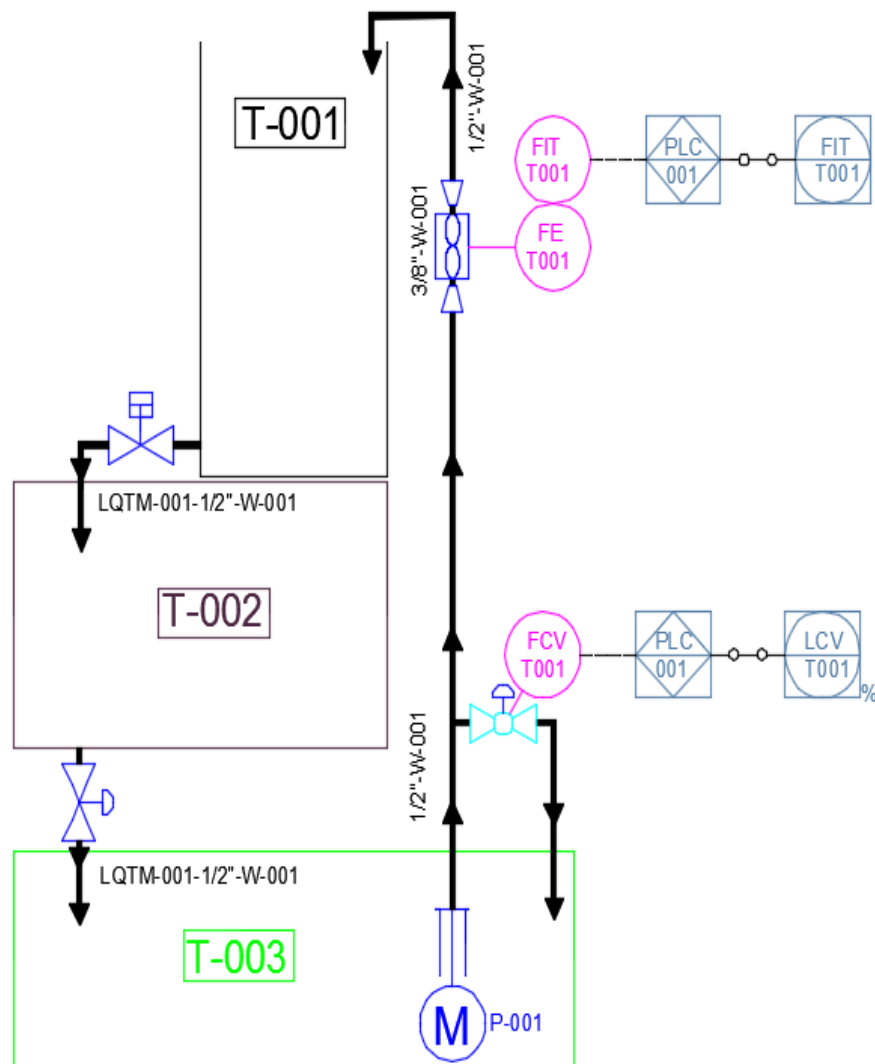


Figura 28.P&ID módulo LTQM-001

- Tanque T-001: Es el tanque de producción donde cae el líquido de la línea de descarga proveniente de la bomba.
- Tanque T-002 :es el tanque de procesamiento final donde se descarga el líquido manipulado en el módulo LTQM-001
- Tanque T-003: El proceso de caudal consta de un tanque reservorio de agua de forma rectangular de 45 litros, el mismo marca el inicio y fin del sistema (Retroalimentación).
- Válvula proporcional FCV-001 está conectada hacia la tubería de la línea de descarga y tienen como objetivo provocar perturbaciones externas.
- Bomba P-001: Bomba electro sumergible, cumple la función de impulsión de agua.
- Elemento primario de flujo (FE-T101): Sensor Savant FS-2000H, es el elemento primario que se encuentra en contacto con la variable controlado y conectado al transmisor.
- Transmisor indicador de flujo (FIT-T001): Transmisor de flujo elaborado con un Arduino UNO, convierte la señal del sensor de flujo e una señal estándar de 0 a 5V.
- Amplificador toma la señal desde el transmisor con un rango de (0-5V) y la amplifica a un rango de (0-10V)
- Controlador (PLC 001): Se encarga de monitorear la variable caudal y la comunicación con la TOUCH.

3.4 Montaje del sensor Savant FS-2000h.

Para que el sensor garantice la precisión de la medida, es necesario instalarlo a una distancia mínima de 20 diámetros de tubería recta aguas arriba y cinco diámetros de tubería recta aguas abajo, con respecto de algún corte de caudal.

Al tener tubería $\frac{1}{2}$ " las dimensiones se especifican a continuación.

- Aguas arriba: $\frac{1}{2} \times 20 = 10 \text{ pulgadas} = 25,4 \text{ cm}$
- Aguas abajo: $\frac{1}{2} \times 5 = 2,5 \text{ pulgadas} = 6,35 \text{ cm}$

El trazado de la tubería debe ser tal que el dispositivo primario o detector, esté siempre lleno de líquido o, al menos, durante su operación. La posición más recomendada es la de tubería vertical, con el líquido fluyendo hacia arriba.

De acuerdo al DS que indica que se evite la instalación del medidor en el punto más alto de un trazado de tuberías para prevenir situaciones de tubería parcialmente llena o la posible acumulación de aire atrapado en la línea. Las válvulas deben estar siempre ubicadas aguas abajo del medidor. (PUMAGUA, 2010)

Para mayor referencia, puede consultar las siguiente figura

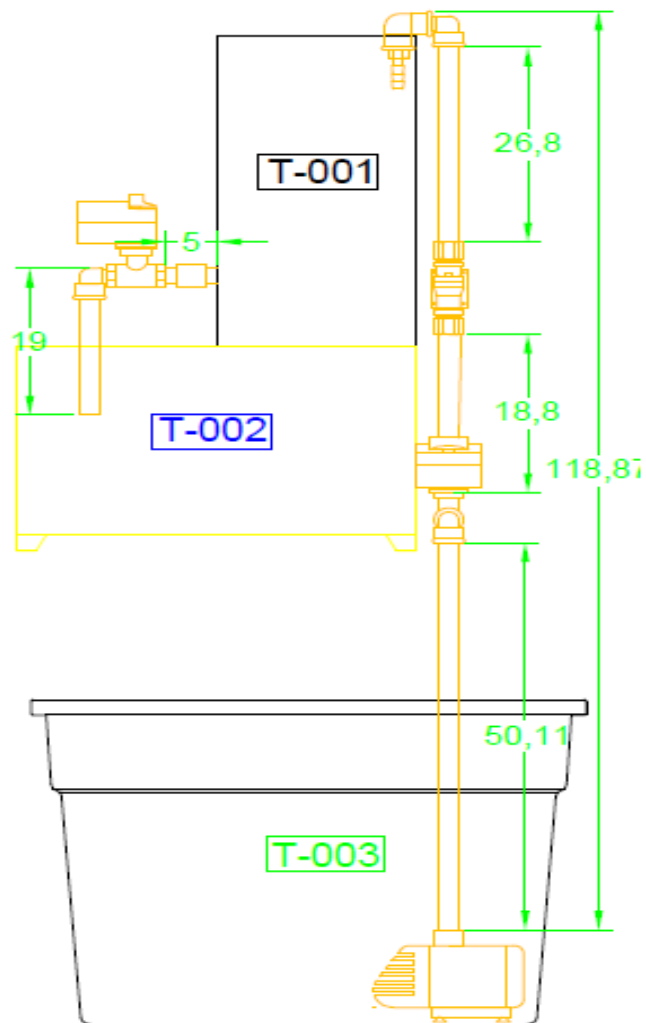


Figura 29. Posición frontal de la estación.

3.5 Programación del Arduino UNO.

Para la programación del transmisor se utiliza un Arduino UNO en el software IDE de Arduino.

3.5.1 Programación en Arduino.

A continuación se detalla el uso de Arduino para desarrollar el programa para el transmisor de caudal, pines de conexión de entrada y salida que se debe tomar en cuenta.

3.5.2 Partes del IDE de ARDUINO.

Dentro del IDE de Arduino existen tres partes principales:

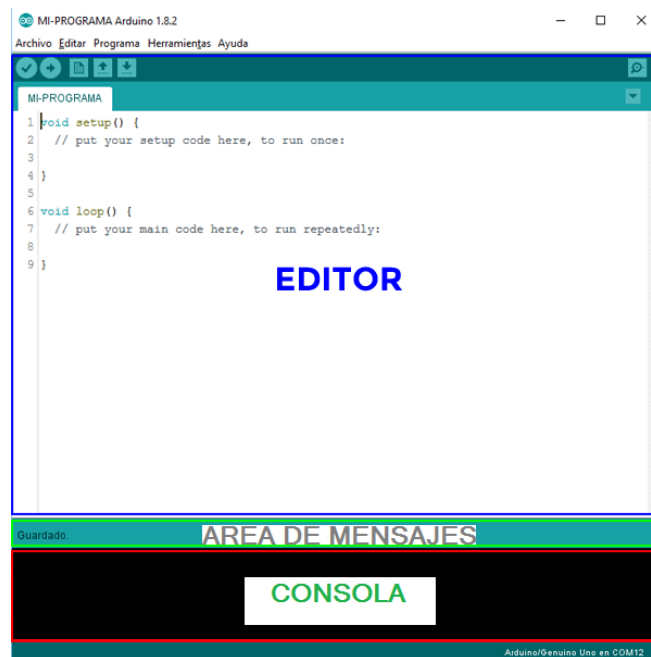
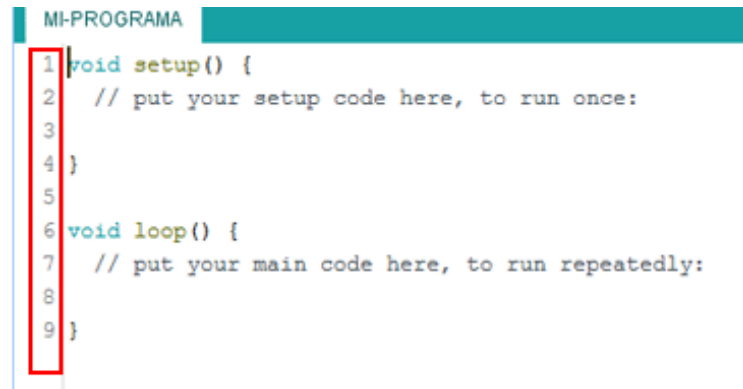


Figura 30. Ventana IDE Arduino.

1. Editor: espacio de trabajo donde se realiza la programación y el acceso de funciones básicas utilizadas a lo largo de la programación como:
 - Numero de línea útil para detectar errores de programación.



```

MI-PROGRAMA
1 void setup() {
2   // put your setup code here, to run once:
3
4 }
5
6 void loop() {
7   // put your main code here, to run repeatedly:
8
9 }

```

Figura 31.Ubicación número de líneas.

- Accesos directos



Figura 32.Accesos principales IDE Arduino

- 1.- Verificar/Compilar: verifica el código en busca de errores y lo compila.
 - 2.- Subir: permite cargar el código al micro controlador a través del puerto serie USB.
 - 3.-Nuevo: crea un programa nuevo. Genera una nueva ventana.
 - 4.-Abrir: abre un programa, guardado previamente en el disco duro.
 - 5.-Salvar: guarda el archivo en el disco duro.
 - 6.-Monitor serie: muestra información de la comunicación entre el ordenador y Arduino en las dos direcciones.
2. El área de mensajes muestra las acciones realizadas o tareas cuando se guarda y se sube el programa al Arduino

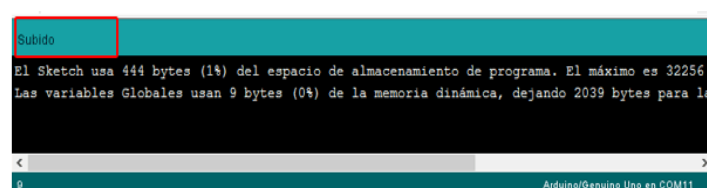


Figura 33.Area de mensajes IDE Arduino.

3. Consola brinda información concreta como datos tras subir un programa, errores en la compilación del programa o problemas en las placas Arduino.

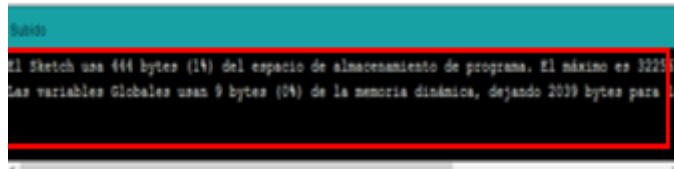


Figura 34. Consola IDE Arduino

3.5.3 Creación de un nuevo proyecto en Arduino.

El proyecto en el software Arduino, guarda el programa, datos necesarios para el usuario, variables del sistema de manera sistemática .A continuación se detallan los pasos para iniciar un proyecto nuevo en Arduino.

1. Ejecutar el software IDE DE ARDUINO.



Figura 35. IDE Arduino.

2. Seleccionar la placa y el puerto ir a Herramientas placa Arduino UNO

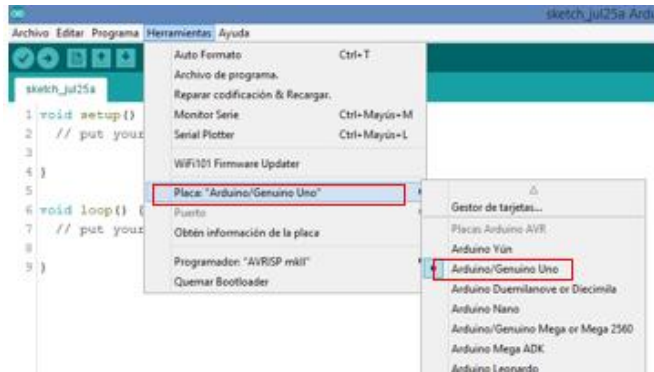


Figura 36.Configuración placa y puerto en IDE Arduino.

3. Asignamos librerías y variables.

- Int: almacena un valor de 16 bits (2 bytes).Esto arroja un rango de -32,768 a 32,767 importante para almacenamiento de números.
- Boolean: contiene uno de dos valores, verdadero o falso. (cada variable ocupa un byte de memoria).
- Float: tipo de dato para números de coma flotante, un número que tiene un punto decimal .Los números de coma flotante a menudo se usan para aproximar valores analógicos continuos porque tienen una resolución mayor que los enteros.
- Word: convierte un valor al tipo de datos de palabras. (Arduino.cl, 2018).

```
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(A0, A1, A2, A3, A4, A5); // (RS,E,D4,D5,D6,D7)
int page_counter=1; //To move beetwen pages
//-----Pins-----//
int up = 4; //Boton Subir
int down = 5; //Boton bajar

// ----- Función de eliminación de rebotes de almacenamiento ----- //
boolean current_up = LOW;
boolean last_up=LOW;
boolean last_down = LOW;
boolean current_down = LOW;

//+++++
volatile float rpmcont; //mide los flancosascendentes de la señal
float Calc;
float Calc2;
float Calc3;
int pin_sensor = 2; // pin del sensor
```

Figura 37.Variables del programa.

Para realizar el control del sensor se utiliza funciones para contar los RPM,(revoluciones por minuto) de la turbina interna del sensor que mediante las interrupciones internas del Arduino realiza el conteo de pulsos provenientes del sensor.

```
rpmcont=0;
sei();
delay(965);
//delay(1000);
cli();
//Calc=(rpmcont*60/350);
Calc=(rpmcont*60/240);

Calc2=(Calc*16.67);
Calc3=(Calc*0.2642);

attachInterrupt(0,rpm, RISING);
//.....
val1=Calc*56.67;
analogWrite(10,val1);
//.....
```

Figura 38.Lectura de pulsos del sensor.

La unidad principal del medidor de caudal digital será en L/min, el cual será presentado en un LCD 16x2.

Hay un menú de selección que permite elegir otra unidad de medición de caudal como (L/min, gal/min, cm³/s) para esto utilizamos estructuras como switch case que permite elegir entre varias opciones.

```

analogWrite(10,vall);
//.....
//+++++

current_up = debounce(last_up, up);      //Debounce for Up button
current_down = debounce(last_down, down); //Debounce for Down button

//----Page counter function to move pages----//

//Page Up
if (last_up== LOW && current_up == HIGH){ //When up button is pressed
  lcd.clear();                          //When page is changed, lcd clear to print new page
  if(page_counter <3){                  //Page counter never higher than 3(total of pages)
    page_counter= page_counter +1;      //Page up

  }
  else{
    page_counter= 3;
  }
}

last_up = current_up;

lcd.setCursor(3,1);
lcd.print(Calc2);
lcd.print("cm3/s");
}
break;

case 3: { //Design of page 3
// lcd.setCursor(1,0);
// lcd.print("You are now on");
// lcd.setCursor(4,1);
// lcd.print("pagina 3");

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("CAUDAL [gpm/min]");

  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print(Calc3);
  lcd.print("gpm/min");
}
break;

} //switch end

```

Figura 39. Menú de selección de unidades

3.5.4 Esquema de conexión.

En la **(figura 40)** se muestra el esquema de conexión del Arduino UNO hacia el sensor con menú y salida de 0-5V en el software de simulación Proteus

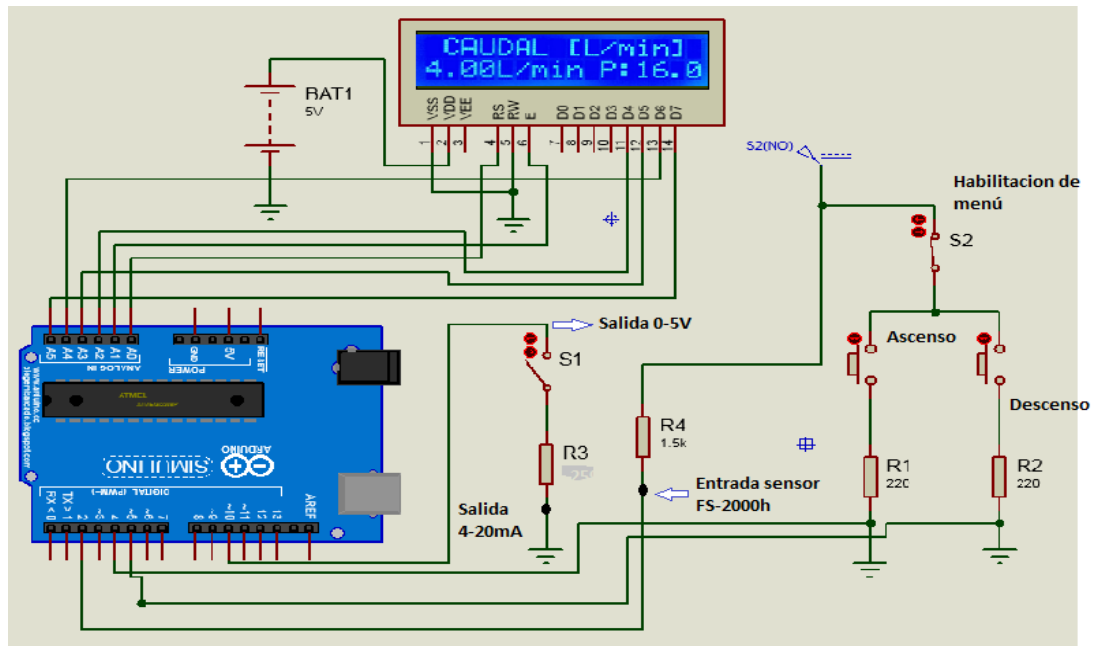


Figura 40.Esquema de conexión para transmisor.

En la **(figura 41)** se muestra el esquema de conexión del amplificador de (0-10V).

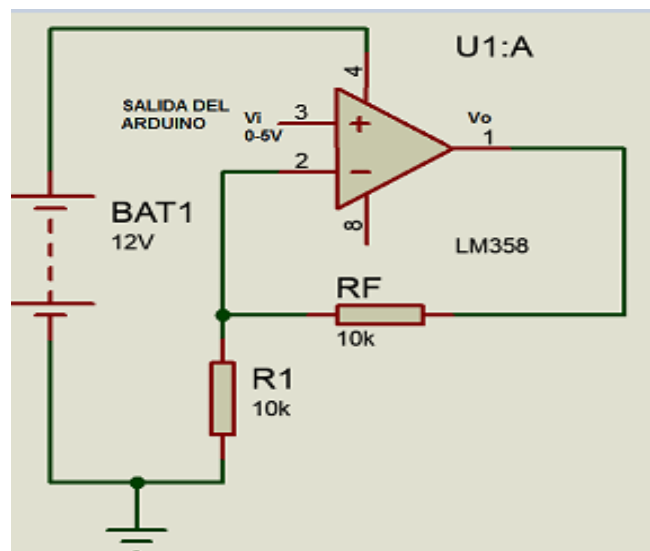


Figura 41.Esquema de conexión para amplificador.

3.6 Programación en el software TIA PORTAL.

Para la programación y la correcta configuración del PLC S7-1200 se utiliza el Software TIA PORTAL, además de la creación del HMI en el TOUCH ya que el software permite la integración de los dos dispositivos SIEMENS

El proyecto en el software TIA PORTAL, guarda el programa, las configuraciones, datos necesarios para el usuario, bloques de programación y objetos de los dispositivos asociados al PLC de una manera sistemática. A continuación se detallan los pasos para iniciar un proyecto nuevo en TIA PORTAL.

1. Ejecutar el software TIA PORTAL V12.

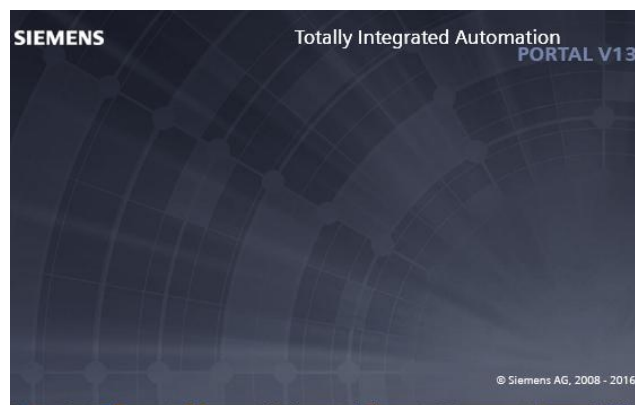


Figura 42. TIA PORTAL

2. Establecer el nombre y la dirección donde se va a guardar el proyecto.

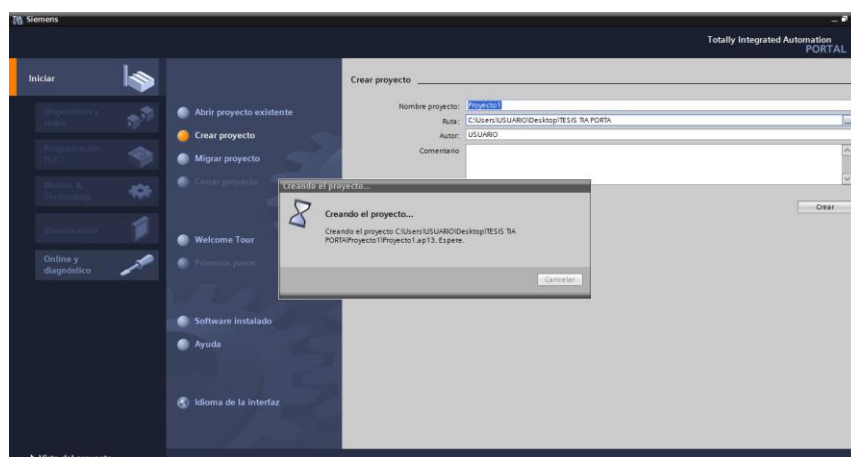


Figura 43. Crear proyecto

3. Agregar dispositivo donde se puede escribir en un programa previamente elaborado.



Figura 44. Configurar dispositivo.

4. Seleccionar el controlador a ser usado en el proyecto en este caso SIMATIC S7-1200 CPU 1214 AC/DC/RLY.

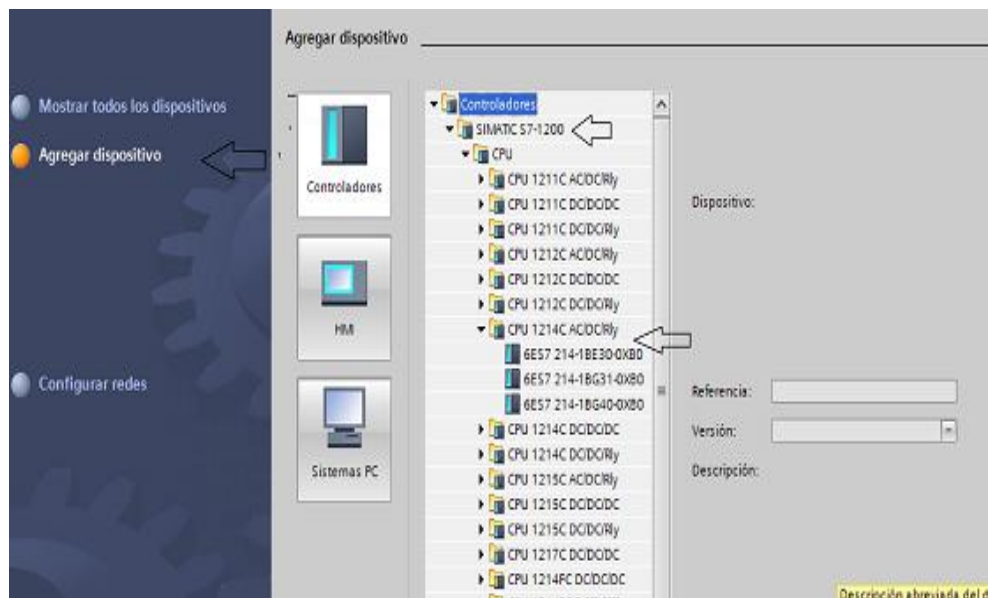


Figura 45. Selección de controlador.

5. Una vez creado el proyecto se ejecuta una ventana de dispositivos y redes, en esta ventana se agrega los módulos que están conectados externamente a la CPU.

3.6.1 Conexión de módulos de señales

Como el objetivo de este proyecto es monitorear el caudal que circula por la tubería del módulo LTQM-001 es necesario agregar módulos de salidas analógicas para modificar el porcentaje de cierre o apertura de la electroválvula.

Seleccionar el módulo de señales analógicas AQ 2X14 bit. (SM 1232)

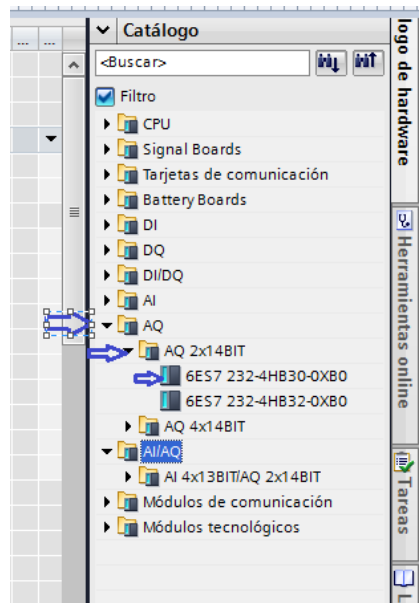


Figura 46. Selección del módulo de señales SM 1232 AQ



Figura 47. Modulo SM 1232 AQ conectado al PLC.

3.7 Creación de variables.

3.7.1 Asignación de variables

Para realizar el monitoreo de la variable caudal y variación del porcentaje es necesario asignar variables que se utilizara en el programa. Tener en cuenta la dirección que se asignó a la salida analógica del PLC

A continuación se describen los pasos necesarios para crear las variables

1. Abrir la opción 'Agregar tabla de variables ' en el árbol del proyecto.

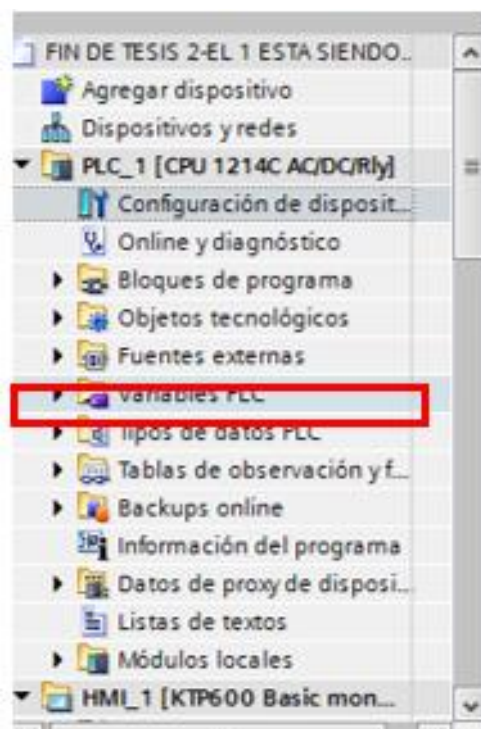


Figura 48. Acceso variable del PLC.

2. Escribir el nombre de la variable, seleccionar el tipo de dato y dirección.

Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Visibl...	Acces...
CAUDAL_ENTRADA	Word	%IW64		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_NORMALIZADO	Real	%MD60		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_ESCALADO	Real	%MD62		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
NIVEL_ENTRADA	Word	%IW66		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
NIVEL_NORMALIZADO	Real	%MD68		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
NIVEL_ESCALADO	Real	%MD72		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
SALIDA_ANALOGICA	Int	%QW98		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DATO_HMI	Int	%MW10		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DATO_HMI_CONV	Real	%MD12		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
DATO_HMI_CALCULATE	Real	%MD16		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TANQUE2_LLENO	Bool	%IO.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TANQUE2_LLENO(1)	Bool	%Q0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
TANQUE2_LLENO_HMI	Bool	%M0.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2_SALIDA_ANALOGICA	Int	%QW96		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
CAUDAL_MOVE	Int	%MW32		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
NIVEL_MOVE	Int	%MW34		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
INICIO_HMI	Bool	%M0.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
IINICIO	Bool	%M0.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 49. Variables del programa.

En este ejemplo se creó el bloque para poder escalar la entrada de corriente para apreciar la magnitud medida en unidades de flujo.

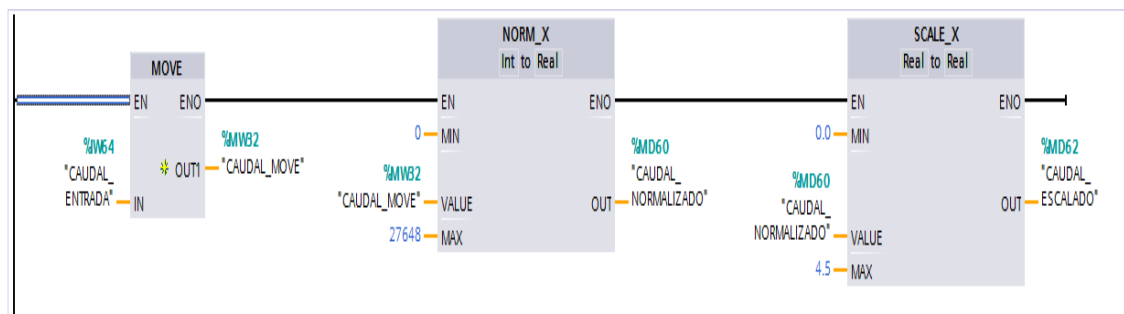


Figura 50. Escalado del programa.

3.8 Conexión de módulos de señales.

Para la TOUCH PANEL se requiere de TIA PORTAL para configurar el HMI el cual presenta una imagen de todo el sistema, en él se tiene la opción de modificar el porcentaje de cierre y apertura de la electroválvula.

A continuación se describen los pasos necesarios para configurar y programar la TOUCH PANEL.

1. Agregar el dispositivo TOUCH PANEL desde el árbol de proyecto

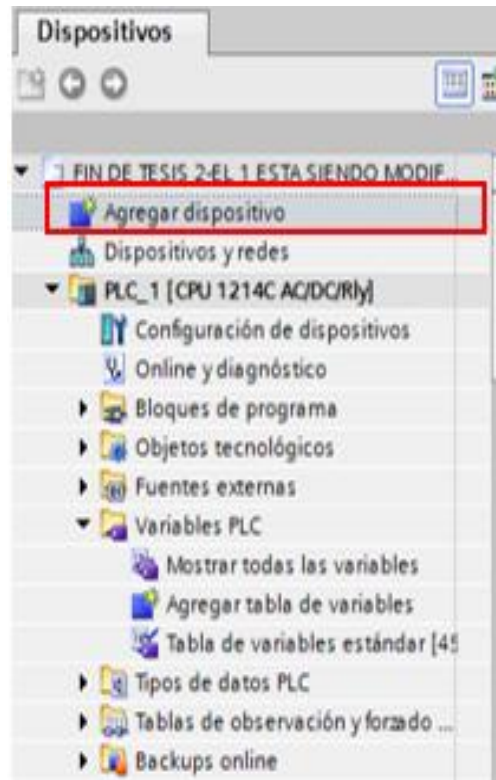


Figura 51. Agregar dispositivo HMI.

2. Seleccionar el dispositivo HMI, en este caso una TOUCH PANEL KTP BASIC MONO PN.

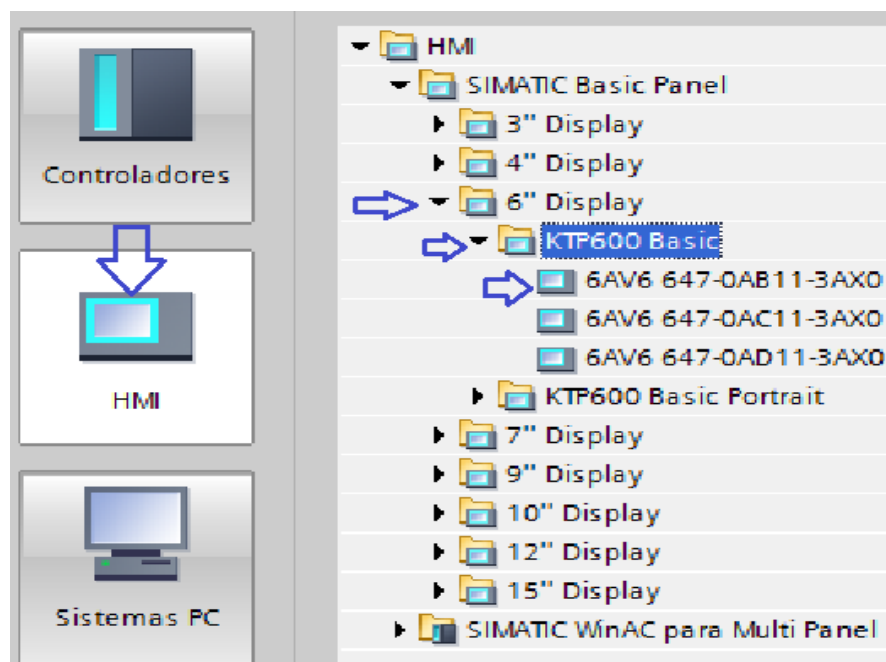


Figura 52. Seleccionar dispositivo HMI.

3.9 Crear objetos de entrada y salida de una variable.

Después de la conexión de PLC y HMI se crea una imagen de inicio, se procede a elaborar la interfaz con botones de acceso, bloques de datos, menús etc.

En este caso se elaboró un HMI con la imagen de los tanques de proceso y con el campo para la entrada de datos para realizar la perturbación en el sistema, además del monitoreo de la variable caudal, del funcionamiento de la bomba y el estado de los tanques.

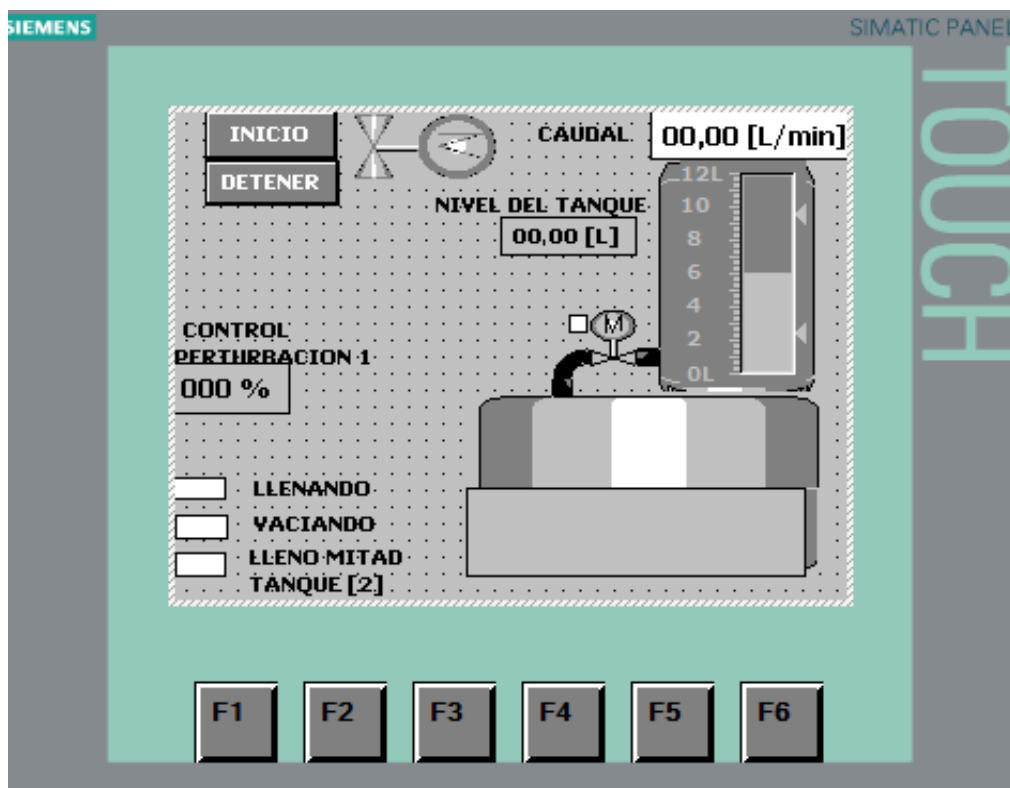


Figura 53. HMI medidor de caudal.

3.10 Pruebas de funcionamiento.

Para realizar las pruebas se mide la línea de tendencia que existe entre las medidas de caudal entre el HMI y el LCD, se observa la exactitud de medida en el LCD es de 0.2, mientras que en el HMI hay una mejor exactitud de medida.

PORCENTAJE APERTURA	Medida LCD L/min	Medida HMI L/min
0	4.5	4.5
10	4.5	4.5
20	4.5	4.48
30	4.25	4.46
40	4.2	4.29
50	3.75	3.98
60	2.25	2.22
65	0.25	0.29

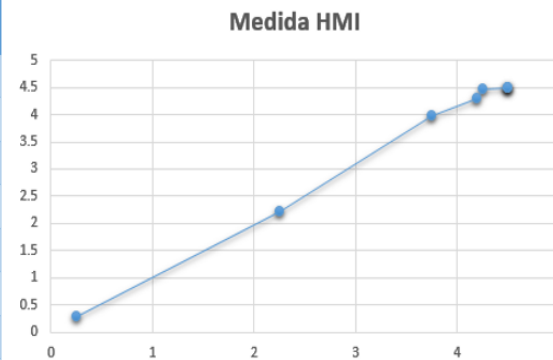


Figura 55. Diferencia entre HMI y PLC.

Mientras la apertura de la electroválvula sea mayor el caudal disminuye por lo que la exactitud del sensor se puede observar en descensos de 0.2.

% de APERTURA	Medida LCD
0	4.5
10	4.5
20	4.5
30	4.25
40	4.2
50	3.75
60	2.25
65	0.25

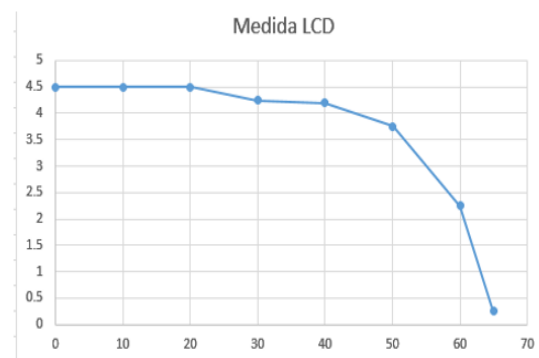
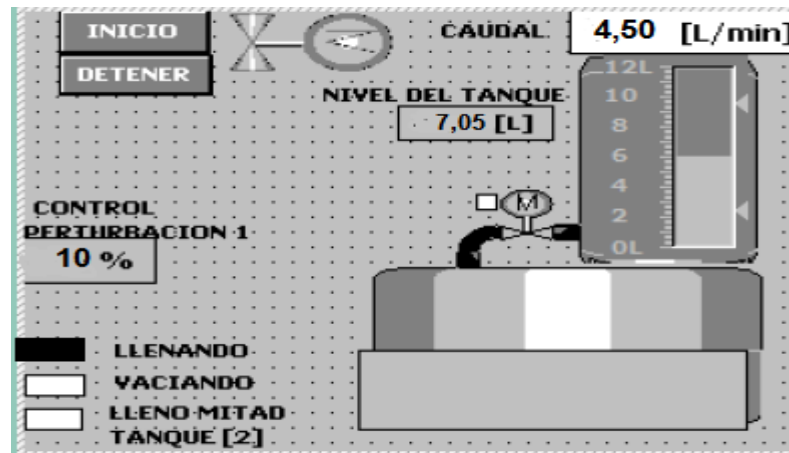


Figura 55. Exactitud del sensor.

A continuación se muestra el funcionamiento del transmisor.

- Electroválvula Apertura 10% HMI



▪ **Figura 56.** HMI.

- Electroválvula Apertura 10% PLC.



Figura 57.Medicion LCD.

En el LCD se muestra la variable caudal acompañado de una unidad principal (l/min) pero se puede seleccionar otro tipo de unidades como (gp/min, cm³/s) por lo que cuenta con un menú:

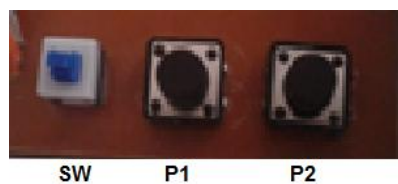


Figura 58.Menú de selección de unidades

Donde:

- SW da paso al menú de selección de unidad
- P1 Ascender en el menú
- P2 Descender en el menú

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. Conclusiones.

Al finalizar el proyecto se tiene las siguientes conclusiones.

4.1 Conclusiones

- Se implementó un medidor de caudal digital, programado en Arduino para el monitoreo de la variable caudal, que fomente la formación de futuros profesionales con la familiarización de procesos industriales.
- Se realizó en el módulo LTQM-001 un caudalímetro que brinde una señal eléctrica estandarizada de (0-10V), con el propósito de ser una herramienta práctica en el laboratorio de control de proceso de la Unidad de Gestión de tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE.
- El software IDE Arduino permite la programación y configuración del Arduino UNO bajo la misma plataforma de programación, brindada facilidad de programación ya que cuenta con un BOOTLOADER.
- Se implementó un HMI para que los usuarios puedan interactuar con el funcionamiento del caudalímetro mediante el cierre y apertura de una electroválvula que genera perturbación con el propósito de determinar la variación de caudal presente en una tubería.
- Se utilizó un Arduino UNO por su bajo costo y flexibilidad de conexión con otros dispositivos como el LCD, para visualizar la cantidad de líquido que pasa por una tubería con sus respectivas unidades de caudal volumétrico.

4.2 Recomendaciones

- Verificar la salida del sensor y el principio de funcionamiento antes de empezar a programar, ya que es un parámetro importante al momento de realizar la estandarización de salida del transmisor en función de voltaje o corriente.
- Al realizar la conexión entre el PLC la TOUCH y el ordenador tener en cuenta las direcciones IP de cada uno para que no haya conflicto de comunicación entre sí.
- Tener en cuenta que los pines (0,1) de la Tarjeta Arduino UNO son especialmente para comunicación serial por lo que es recomendable dejarlos libres, pero si es necesario hay que configurarlos como salidas o entradas según sea el caso.
- Medir los diámetros de tubería antes y después que son necesarios en la instalación del sensor para evitar fluctuaciones o medidas erróneas y un mal funcionamiento del transmisor.
- Evitar que la bomba succiones aire, para que no se produzca sobre-esfuerzo o problemas de cavitación.

GLOSARIO DE TÉRMINOS.

IDE	Infraestructura de Datos Espaciales.
PWM	Modulación por ancho o pulso
NPSH	Altura Neta Positiva de Aspiración
SM	Módulo de Senal
LCD	Pantalla Liquida de Cristal
IP	Protocolo de Internet
SRAM	Memoria Estatica de Acceso Aleatorio
EEPROM	Eléctricamente programable y borrables memoria de solo lectura.
CPU	Unidad Central de Proceso
PLC	Controlador Lógico Programable
TIA	Automatización de Control de Transmisión
LTQM	Módulo de Temperatura, Nivel y Caudal

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- Fernández Losa, J. C. (07 de Junio de 2015). *Cavitacion* . Obtenido de Instrumentacion y hoy:
<https://instrumentacionhoy.blogspot.com/2015/06/cavitacion-y-vaporizacion-en-valvulas.html>
- Alguapres. (12 de Enero de 2017). *Bombas sumergibles: Cómo funcionan, ventajas y desventajas*. Obtenido de Bombas de agua:
<http://www.bombasagua.es/bombas-sumergibles-como-funcionan-ventajas-desventajas/>
- Arduino.cl. (2018). *Arduino*. Obtenido de Arduino:
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/09/25/que-es-arduino/>
- BELIMO. (22 de Mayo de 2015). *TR24-SR*. Obtenido de BELIMO Technical data:
https://www.belimo.ch/pdf/e/TR24-SR_datasheet_en-gb.pdf
- Bombas ideal. (Julio de 2008). *datos tecnicos de la bomba hidraulica*. Obtenido de Bombas ideal:
<http://www.bombasideal.com/Catalogos/LIBRO%20HIDRAULICA%20%5BD->
- Creus Sole, A. (2010). *Instrumentacion Industrial*. Mexico DF: Alfaomega.
- Endress+Hauser. (2005). *Medicion de caudal*. Reinach: Endress+Hauser.
- Enriquez, H. (2013). *EI ABC DE LA INSTRUMENTACION EN EL CONTROL DE PROCESOS INDUSTRIALES*. Mexico: Limusa SA.
- INACAP. (s.f.). *Valvulas Proporcionales* . Obtenido de Ingeniería de Ejecución Mecánica en Mantenimiento Industrial:
https://www.emagister.com/uploads_courses/Comunidad_Emagister_59482_Valvulas_proporcionales_.HYD.2.pdf
- Ingemecanica. (Agosto de 2005). *Sistema Internacional de Unidades de Medida*. Obtenido de
<http://ingemecanica.com/tutoriales/unidadesdemedida.html#caudalvolumetrico>
- JAD AQUARIUM. (2008). *Fountain*. 2-3.
- Marbello Pérez, R. (2005). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Hidrometría y aforo de corrientes naturales:
<http://bdigital.unal.edu.co/12697/68/3353962.2005.Parte%2013.pdf>
- Martin, G. (12 de Junio de 2012). *Manual para diseno de red hidraulica*. Obtenido de E-reading:
<http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5091/fichero/6+-+BOMBAS+CENTR%C3%8DFUGAS.pdf>

- NORIA. (2015). *Erosión por cavitación*. Obtenido de Estrategias de lubricacion : <http://noria.mx/glossary/erosion-por-cavitacion/>
- Perez, G. A. (2010). *Curso de Instrumentacion*. Obtenido de Efecto Hall en sensores: http://galia.fc.uaslp.mx/~cantocar/alfonso_perez_garcia/instrumentacion/texto/INSTRU.pdf
- Perez, M. A. (2014). *Instrumentacion Electronica*. España: Paraninfo, SA. Obtenido de Universidad de San Luis.
- Sanhueza, A. (Abril de 2009). *Instrumentacion y calibracion* . Obtenido de <http://sensoresdecaudal.blogspot.com/>
- Savant Electronics Inc. (s.f). *Savant FS-2000H Flow Sensor, Digital Output*. Obtenido de <http://www.digisavant.com/PDF/FS-2000H-Spec.pdf>
- SIEMENS. (Noviembre de 2009). *Manual del Sistema SIMATIC S7-1500*. Obtenido de Manual del Sistema SIMATIC S7-1500.: <https://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/Documents/S71200-MANUAL%20DEL%20SISTEMA.PDF>
- SIEMENS. (abril de 2012). *SIMATIC HMI* . Obtenido de SIMATIC HMI.
- TodoElectrodo. (10 de Febrero de 2013). *Lcd 16x2*. Obtenido de TodoElectrodo: <http://todoelectrodo.blogspot.com/2013/02/lcd-16x2.html>
- Caldas, E. (Mayo de 2013). *LM 358*. Obtenido de LM358: <https://www.electronicoscaldas.com/amplificadores-operacionales/139-amplificador-operacional-lm358.html>
- PUMAGUA. (2010). *Programa, uso manejo de agua*. Obtenido de especificacion de instalaciones de medidores de caudal: http://www.pumagua.unam.mx/assets/pdfs/manuales/manual_instalacion.pdf
- Wonderware. (2018). *Inferfaz Hombre Maquina* . Obtenido de HMI: <http://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

Nombres:	Ángela Geovanna	
Apellidos	Montaguano Pillajo	
Fecha de nacimiento	09 de Septiembre de 1995	
Lugar de nacimiento	Quito	
Cedula de ciudadanía	172404232-8	
Tipo de sangre	O+	
Estado civil	Soltera	
Dirección	Aloag barrió la libertad av. 5 de julio y Eloy Alfaro	
Celular	0939289987	
Correo electrónico	mariang1233@gmail.com	

ESTUDIOS REALIZADOS

Primaria	Escuela “María Mercedes Velasco “
Secundaria	Instituto Tecnológico Superior Aloasi- “ITSA”
Universitario	Unidad de Gestión de Tecnologías- ESPE

TÍTULOS OBTENIDOS

— Bachiller Técnico Industrial en Electrónica de Consumo (2012-2013)

EXPERIENCIA LABORAL

Nombre de la empresa:	Dirección General de Aviación Civil
	Iglesia de San Felipe
	Smartpro SA
	CELEC EP TermoEsmeraldas I

CERTIFICADOS OBTENIDOS

Primeras jornadas tecnológicas internacionales de electromecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías-ESPE

Instalaciones Básicas de viviendas

La automatización industrial con PLC

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS-ESPE UNIDAD DE
GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE RESPONSABILIZA
EL AUTOR**

MONTAGUANO PILLAJO ÁNGELA

C.C: 1724042328

DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELECTRÓNICA MENCIÓN INSTRUMENTACIÓN
Y AVIÓNICA

ING. PABLO PILATASIG

Latacunga, 13 de Agosto del 2018