



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**TESIS DE GRADO
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO
PROYECTO TÉCNICO**

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MANTENER EL
CAUDAL CONSTANTE A LA ENTRADA DE UNA TURBOBOMBA”**

AUTOR: Soto Andino Elvis Geovanny

TUTOR: Ing. Mg. Carrillo Rosero Carlos Mauricio

AMBATO - ECUADOR

Junio – 20201

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MANTENER EL CAUDAL CONSTANTE A LA ENTRADA DE UNA TURBOBOMBA”**, elaborado por el Sr. Soto Andino Elvis Geovanny, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 2350056293, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Junio 2021

Ing. Mg. Carrillo Rosero Carlos Mauricio
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Soto Andino Elvis Geovanny, con C.I. 2350056293 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MANTENER EL CAUDAL CONSTANTE A LA ENTRADA DE UNA TURBOBOMBA”** así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Junio 2021



Soto Andino Elvis Geovanny
C.I: 2350056293
AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio 2021



Soto Andino Elvis Geovanny

C.I: 2350056293

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Soto Andino Elvis Geovanny. de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA PARA MANTENER EL CAUDAL CONSTANTE A LA ENTRADA DE UNA TURBOBOMBA”**.

Ambato, Junio 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Mayorga Pardo Alex Santiago
Miembro Calificador

Ing. Mg. Analuza Maiza Oscar Iván
Miembro Calificador

DEDICATORIA

Tras un largo camino de mucho esfuerzo y dedicación estoy logrando llegar a ese punto que todo estudiante sueña, ser un profesional del cual se sientan orgullosos mis padres, amigos y familiares. Este no es mi triunfo solamente, es el triunfo de mis padres, hermanos, tíos y de todos quienes confiaron en mí, siempre agradecido de corazón.

Mis padres Mercedes Andino, Nelson Soto, mis hermanos Alex, Josselyn se los dedico, los amo infinitamente.

Elvis Soto

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios quien me permitió tener a mi familia completa a mi lado, ellos son quienes me motivaron a salir a delante, quienes estuvieron ahí para cuando más los necesitaba y espero seguir contando con su apoyo siempre, en especial a ti Mechita que me motivaste a seguir la universidad, no lo olvidaré.

Gracias papá, mamá, hermanos un sincero agradecimiento de mi parte por ser el pilar principal de este logro, espero poder retribuirles todo el esfuerzo que hicieron por mí.

A mis tíos Milton, Dimas, Tobías, tía Magdalena y a mi difunto tío Wilmer gracias por darme su apoyo moral y económico en todos estos años de preparación, que Dios los bendiga siempre a su familia.

A mi Abuelita Isabel Paredes quien estuvo ahí acompañándome en cada paso y a mi difunto abuelito Abelardo Soto, que en paz descanse.

Padrino Gonzalo y su hermosa familia eternamente agradecido por ese apoyo que me brindaron desde el comienzo, Ruth hermanita.

Yajita quiero agradecerte por esa amistad sincera que me has dado, te agradezco por aquellas palabras de cariño y valor que me distes siempre que los necesitaba.

A ti Vero gracias por apoyarme y confiar en mí, sé que no podrás festejar junto a mí la culminación de tan anhelado sueño, pero espero te sientas orgullosa de mi un día, como yo lo estoy de ti, se te echa de menos.

A mis primos Neider, Walter, Bryan, Daysi, Mónica, Marley, Marlene, Rosita por esa bonita amistad.

Finalmente, quiero agradecer a mis amigos de la Universidad, mi otra familia con quienes se ganó y también se perdió grandes batallas dentro de las aulas, horas de pruebas, mala noche de trabajos entre otras aventuras, se los recuerda con cariño, Wilmer, Erick, David, Jhony, Edison, William, Jairo, Jhon, Armando, Perdomito, Ashley, Alison.

Elvis Soto

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICAS	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
CAPÍTULO 1	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Antecedentes investigativos.	1
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Determinar las variables que intervienen para el diseño mecánico y sistema de control.....	4
1.2.1.1. Turbomáquinas	4
1.2.1.2. Máquinas hidráulicas.....	5
1.2.1.3. Características de una turbina hidráulica.....	9
1.2.1.4. Turbina Pelton	10
Partes de la turbina Pelton.....	11
Inyector	11
1.2.1.5. Carga de la turbina	14
1.2.1.6. Eficiencia de una turbina	15

1.2.1.7.	Ecuaciones fundamentales.....	16
1.2.1.8.	Alturas piezométricas	17
1.2.1.9.	Turbobomba	17
1.2.1.10.	Dispositivos de control	20
1.2.1.11.	Automatización.....	20
1.2.1.13.	Sensores	23
1.2.1.14.	Señal Analógica	23
1.2.1.15.	Señal Digital	24
1.2.1.16.	Microprocesadores.....	25
1.2.1.17.	Microcontrolador	25
1.2.1.18.	Procesador.....	25
1.2.1.19.	Memoria no volátil.....	26
1.2.1.20.	Memoria de datos (RAM).....	26
1.2.1.21.	Puertas de entrada y salida.....	26
1.2.1.22.	Comunicación inalámbrica	26
1.2.1.23.	Relés.....	26
1.2.1.24.	Arduino	27
1.2.1.25.	Características de la placa de Arduino.....	28
1.2.2.	Seleccionar el material adecuado para la construcción mecánica y los elementos para la elaboración del sistema de control	29
1.2.2.1.	Diagrama de lazo cerrado.....	29
1.2.2.2.	Válvula motorizada	30
1.2.2.3.	Policloruro de vinilo (PVC)	33
1.2.2.4.	Caudalímetro ultrasónico	34
1.2.2.5.	Principio de funcionamiento del caudalímetro ultrasónico	34
1.2.2.6.	Medidor de revoluciones	35
1.2.2.7.	Software del sistema de control y almacenamiento de datos.	37

1.2.2.8. LabWIEV	38
1.2.3. Realizar pruebas de funcionamiento	39
1.2.3.1. Instalación del sistema obra civil	40
1.2.3.2. Componentes del sistema mecánico	41
1.2.3.3. Componentes del sistema de control	43
1.3. Diagrama de flujo del funcionamiento general	46
CAPÍTULO II.....	49
METODOLOGÍA	49
2.1. Equipos y materiales	49
2.2. Adaptación del proyecto.....	49
2.2.1. Equipos electrónicos.	51
2.2.2. Equipos adicionales.....	52
2.3. Métodos	55
2.3.1. Documental	55
2.3.2. Experimental	55
2.3.3. Cualitativo	55
2.3.4. Campo	55
CAPÍTULO III.....	56
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
3.1. Análisis y discusión de los resultados	56
3.2. Operación del inyector	56
3.3. Descripción del programa y sus funciones.....	58
3.4. Ejecución y puesta en marcha del sistema	60
3.4.1.1. Procedimiento de instalación y manejo del programa.....	60
3.4.2. Resultados obtenidos.....	64
3.4.2.1. Turbina sin carga	65
3.4.2.2. Turbina con carga.....	72

3.5. Discusión de resultados	76
CAPÍTULO IV.....	78
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	78
4.1. Conclusiones	78
4.2. Recomendaciones	79
Referencias bibliográficas.....	81
Anexos.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de regulador magnético de caudal.....	2
Figura 2: Esquema general de una turbomáquina.	4
Figura 3: Campos de estudios técnicos-científicos de las turbomáquinas	5
Figura 4: Esquema de transmisión hidráulica.	6
Figura 5: Bomba centrífuga	7
Figura 6: Máquina volumétrica o de desplazamiento-alternativa de émbolo.	8
Figura 7: Máquina volumétrica o de desplazamiento-rotativa de engranajes.....	8
Figura 8: a) Diagrama de turbinas de acción. b) Diagrama de turbinas de reacción. ..	9
Figura 9: Trayectorias que siguen las partículas perpendiculares al eje de giro, con velocidad radial y acimutal	9
Figura 10: Esquema básico de una turbina de acción tipo Pelton.....	10
Figura 11: Esquema básico de una turbina de reacción Francis típica	10
Figura 12: Partes turbina Pelton.....	11
Figura 13: Inyector	12
Figura 14: Álabes de una turbina Pelton, empernadas al rodete.	13
Figura 15: Inyector Pelton, salida inyector, deflector	14
Figura 16: Carcaza	14
Figura 17: Diagrama de la ecuación de la continuidad.....	16
Figura 18: Diagrama, ecuación de la energía.....	16
Figura 19: Turbobomba.....	17
Figura 20: Diagrama válvula de compuerta.....	18
Figura 21: Diagrama válvula de globo.....	20
Figura 22: Diagrama de un sistema general de control.....	22
Figura 23: Esquema de un sistema de control general.....	22
Figura 24: Sistema de lazo cerrado	23
Figura 25: Comportamiento de la señal analógica en un tiempo determinado	24
Figura 26: Comportamiento de la señal digital en un tiempo determinado	24
Figura 27: Diagrama interno de un relé	27
Figura 28: Módulo relay de 4 canales	27
Figura 29: Diagrama estándar, Arduino UNO	28
Figura 30: Diagrama de lazo cerrado del sistema de control	29

Figura 31: Válvula motorizada 2 pulgadas	31
Figura 32: Esquema de un actuador	31
Figura 33: Caudalímetro ultrasónico y sus sensores correspondientes	34
Figura 34: Diagrama del funcionamiento de los sensores	35
Figura 35: Sensor hall.	36
Figura 36: Encoder incremental monovuelta	36
Figura 37: Encoder incremental de cuadratura	37
Figura 38: Software de Arduino.....	37
Figura 39: a) Panel frontal, b) Diagrama de bloques	38
Figura 40: Cascada Cal y Piedra	39
Figura 41: Instalación del arenero.....	40
Figura 42: Acoplamiento camlock 4 pulgadas.....	41
Figura 43: Turbina Pelton	43
Figura 44: Prueba de señal aguas abajo	43
Figura 45: Ubicar el primer sensor aguas arriba	44
Figura 46: Desplazar el sensor a lo largo de la tubería hasta que el sensor marque las mediciones de caudal	44
Figura 47: Programa generador del punto de acceso Wifi.....	45
Figura 48: Módulo ESP8266 servidor y cliente para prueba de señal	45
Figura 49: Módulo L298N	46
Figura 50: Instructivo de movimiento apertura y cierre del inyector.....	56
Figura 51: Panel frontal del programa izquierdo, y su partes	59
Figura 52: Panel frontal del programa derecho, y su partes.....	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos técnicos del microprocesador	28
Tabla 2: Propiedades PVC	33
Tabla 3: Velocidad de los medidores ultrasónicos.....	34
Tabla 4: Datos técnicos de la válvula motorizada.....	42
Tabla 5: Materiales y equipos	49
Tabla 6: Equipos electrónicos	51
Tabla 7: Equipos complementarios.....	53
Tabla 8: Equipos complementarios.....	54
Tabla 9: Registro de datos.....	57
Tabla 10: Descripción instalación y manejo del programa.	61
Tabla 11: Valores referenciales obtenidos para de la turbina sin carga (Caso 1)	64
Tabla 12: Valores referenciales obtenidos para de la turbina conectada a la bomba (Caso2).....	64
Tabla 13: Datos generales de ensayo N° 1.....	65
Tabla 14: Tabla de datos obtenidos del ensayo N° 1	65
Tabla 15: Datos generales de ensayo N° 2.....	69
Tabla 16: Tabla de datos obtenidos del ensayo N° 2	69
Tabla 17: Tabla de datos para ensayo N° 3.....	72
Tabla 18: Tabla de datos obtenidos del ensayo N° 3	72
Tabla 19: Indica los 12 primeros datos de los 3 ensayos	76

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfico 1: Comportamiento del caudal y las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 1	67
Gráfico 2: Diagrama del comportamiento de la válvula motorizada en función del tiempo ensayo N° 1	68
Gráfico 3: Comportamiento del caudal y las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 2	70
Gráfico 4: Diagrama del comportamiento de la válvula motorizada en función del tiempo ensayo N° 2	71
Gráfico 5: Comportamiento del caudal y las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 3	74
Gráfico 6: Diagrama del comportamiento de la válvula motorizada en función del tiempo ensayo N° 2	75
Gráfico 7: Comportamiento del caudal de los tres ensayos realizados	77

RESUMEN

El presente proyecto técnico se desarrolló debido a la importancia de incorporar un sistema para monitorear y controlar el caudal a la entrada de una turbobomba con turbina Pelton en tiempo real desde un punto de control específico. Este sistema permitirá nivelar a través de una válvula motorizada un caudal real a un caudal base cualquiera que se encuentre dentro del rango de apertura y mantenerlo constante.

El programa de control se desarrolló en el software LabVIEW, a partir de este programa se pudo controlar el sistema. Para el funcionamiento se suministró datos primordiales como: el caudal base, la apertura inicial de la válvula y los tiempos de funcionamiento., el programa registró el ingreso de los datos en tiempo real, procesó y ejecutó la acción de abrir o cerrar la válvula mediante pulsos de energía. Los datos tomados de caudal y revoluciones conjuntamente con los datos de tiempo y porcentaje de apertura de válvula generados por el programa en cada intervalo de tiempo serán almacenados y exportados a un archivo Excel al final del ensayo. Se usó un caudalímetro ultrasónico para medir y registrar el valor de caudal en la tubería, estos datos son enviados vía señal Wifi al punto de control y un sensor Hall para registrar las revoluciones (rpm) en el eje de la turbina. La válvula tarda entre 130 y 170 segundos en nivelarse al caudal deseado, la instalación y pruebas de funcionamiento del equipo se realizaron en la cascada Cal y Piedra del Cantón Mocha.

Palabras claves: caudal, control, turbobomba, válvula motorizada.

ABSTRACT

Technical project was developed because of the importance of incorporating a system to monitor and control the flow at the inlet of a Pelton turbine turbopump in real time from a specific control point. This system will allow a real flow to be leveled through a motorized valve at any base flow that is within the opening range and keep it constant.

The control program was developed in the LabVIEW software, from this program the system could be controlled. For the operation, essential data was provided such as: base flow rate, initial valve opening and run times, the program recorded the data entry in real time, processed and executed the action of opening or closing the valve by energy pulses. The data taken from flow and revolutions jointly with the time data and valve opening percentage generated by the program in each time interval, an Excel file will be stored and exported at the end of the assay. An ultrasonic flowmeter was used to measure and record the flow rate value in the pipeline, these data are sent via Wifi signal to the control point and a Hall sensor to record the revolutions (rpm) on the turbine shaft. The valve takes between 130 and 170 seconds to level to the desired Flow, the installation and operation tests of the equipment were carried out in the "Cal y Piedra" waterfall located in the Mocha Canton.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes investigativos.

A continuación, se mencionan algunas de las investigaciones previas que nos ayudaran a desarrollar el proyecto:

Según el autor [1] , El proyecto tiene por objetivo bombear agua a grandes alturas aprovechando la energía cinética y potencial de la caída a desnivel de agua, se diseñó y se construyó una turbina Pelton adaptada a una bomba de diafragma, las pruebas se realizaron en la cascada Cal y Piedra de 15 m de altura en el Cantón Mocha. La altura de bombeo alcanzada fue de 46,5 m, 470 rpm y una potencia de 4,18 kW con la apertura máxima del inyector de 14.34 mm y un caudal de 0.0285 m³/h, valores que se tomaran como referencia para realizar la programación del sistema de control del mismo modo la metodología de instalación de los equipos.

Según [2], menciona un proyecto de generación de energía eléctrica de corriente continúa acoplando un generador de imanes permanentes a dos rotobombas disponibles en los laboratorios de la FICM, para la turbina Pelton y Michael Banki respectivamente, las pruebas de este proyecto realizaron en la cascada el silencio de la parroquia Ulba del cantón Baños. Mediante el uso de dispositivos electrónicos se registraron datos de caudal, voltaje, amperaje, velocidad de rotación para diferentes cargas eléctricas aplicadas al generador, también se tomaron datos sin carga eléctrica aplicada para la cual se obtuvo los siguientes datos: en la turbina Pelton una potencia de 89 W, 23 V, 4 A, 800 rpm y velocidad de 20 l/s y para la turbina Michael Banki una potencia de 118 W, 29,5 V, 4 A, 800 rpm y velocidad de 32 l/s. La aplicabilidad de esta investigación en el proyecto son los conocimientos del sistema de control, almacenamiento de datos y dispositivos electrónicos usados para toma de medidas en tiempo real.

Según [3], el proyecto de diseño y construcción de una turbina Michell Banki, se desarrolló en la cascada Jun Jun del cantón Quero, los parámetros de diseño fueron un caudal de 9 l/s, una altura 9 metros dando como resultado una turbina de 20 álabes y de 180 mm de diámetro exterior de rodete con diámetro de 4 in

para la entrada de agua. Este proyecto ayuda a entender como manipular y mantener un caudal controlado para alcanzar una altura de bombeo deseada.

Según [4], plantea renovar el sistema de control que se está usando en el proceso de dosificación de tratamientos sanitarios, el funcionamiento del sistema actual basa en la aplicación de presión al fluido usando una membrana látex o por gravedad usando resistencias fluídicas específicas, como solución este proyecto presenta una nueva alternativa innovadora el cual regula el caudal de forma mecánica (figura1), usando varias resistencias fluídicas en paralelo y en su extremo se encuentra una micro válvula magnética la cual presenta un comportamiento on/off.

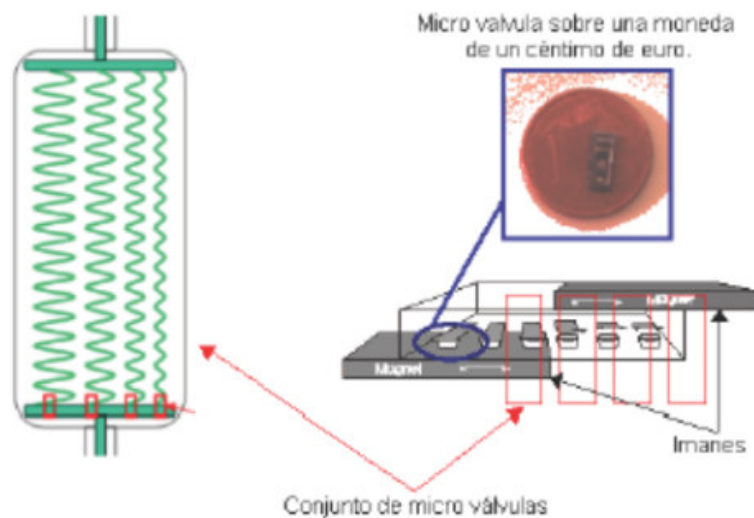


Figura 1: Esquema de regulador magnético de caudal.

Fuente: [4]

Según [5], Propone de implementación de una válvula de control industrial, solucionando inconvenientes a la hora de adquirir un dispositivo de control continuo de caudal. Para el desarrollo de su propuesta usaron una válvula convencional al cual adaptaron un sistema servo para controlar el ángulo de posicionamiento mediante pulsos eléctricos, este proyecto presenta metodologías para la calibración de variables del sistema de control PID y alternativas en software de interfaz como LabWIEV, programa que permite

monitorear en tiempo real las mediciones de los distintos dispositivos electrónicos.

En [6], el proyecto tiene como objetivo diseñar un controlador para un sistema de regulación de caudal líquido mediante un modelo matemático desarrollado en Matlab, para el estudio de las variables implementaron una planta en la cual circula agua y analizaron por etapas mediante el método de identificación de sistema: cuales son las señales de entrada y salida, las condiciones de funcionamiento, las perturbaciones, parsimonia, intervalo de confianza etc., ya obtenido el modelo matemático usaron la herramienta Sisotoll de Matlab para simular y encontrar las constantes derivativas e integral del controlador PID. Para nuestro proyecto usaremos la metodología para identificar las condiciones de trabajo y las variables que intervienen en el desarrollo del controlador PID.

Según [7], El proyecto se enfoca en crear un sistema de control de riego de bajo costo y al alcance de cualquier estatus económico usando incluso recursos reutilizables. El sistema de control tiene dos pilares, el primero es el sistema de sensores de humedad ubicados en el exterior quienes son encargados de medir la humedad de la tierra en tiempo real, y la segunda un punto de control donde recibe los datos procesa y ejecuta acciones mediante el control de relés usando un Arduino como controlador. La implementación del control PID en un sistema de control de lazo cerrado ayuda a que el proceso sea eficaz y amigable al operario cumpliendo funciones específicas a una gran velocidad.

Según [8], menciona el resultado de una investigación teórica experimental que permite controlar la frecuencia de salida en una turbina de impulso Michell Banki de flujo transversal mediante la regulación de caudal, se usa un álabe colocado a la entrada de la turbina conectada a engranes reductores de velocidad. Los dispositivos electrónicos usados para controlar el moto-reductor son: el sistema de comandos por relés, Arduino, puente H estos componentes permiten controlar la dirección de giro del motor eléctrico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Determinar las variables que intervienen para el diseño mecánico y sistema de control

Para la determinación de las variables de funcionamiento se tomó en cuenta las siguientes consideraciones:

- Elaboración de un diagrama de flujo general
- Elaboración de un diagrama de control
- Realizar visitas técnicas a lugares óptimos de instalación
- Determinar las alternativas al mejor actuador mecánico para el control de caudal

1.2.1.1. Turbomáquinas

Son aquellas máquinas que transforman la variación de energía de un fluido (gas, líquido) en energía mecánica [1], contienen un número determinado de coronas o de álabes (n), conectados rígidamente al eje denominada turbina figura 2 [9]. La turbina recibe constantemente la energía de chorro de agua en sus álabes moviendo el eje al cuál se encuentran conectados a grandes velocidades. Las turbomáquinas que se puede encontrar comúnmente son las turbinas (gas, hidráulicas, vapor), bombas, ventiladores, compresores, etc.

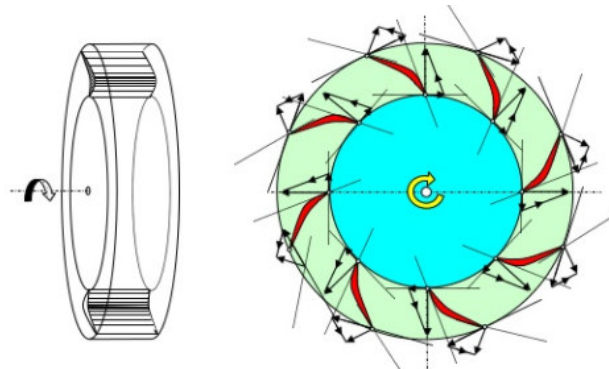


Figura 2: Esquema general de una turbomáquina.

Fuente: [9]

El desarrollo de las turbomáquinas en los últimos años ha progresado, pasando de ser un campo multidisciplinar tecnológico debido al interés de la investigación en distintos equipos el comportamiento del flujo en el interior de máquina. La inclinación por realizar investigaciones en este ámbito es debido al panorama cualitativo que interviene en el estudio de estas máquinas mismo que está ligado a diferentes campos de aplicación técnico, científico como se puede observar en la figura 3 [9].



Figura 3: Campos de estudios técnicos-científicos de las turbomáquinas

Fuente: [9]

Para el estudio de las turbomáquinas existen numerosas variables, estas se pueden agrupar en:

- Geométricas (espesores, ángulos, diámetros, etc.).
- Mecánicas (rpm, potencia, esfuerzos, etc.).
- Fluidodinámicas (caudal, densidad, velocidad, viscosidad, etc.). [9]

1.2.1.2. Máquinas hidráulicas

Se puede interpretar como una máquina de fluido hidráulico, sistema mecánico que se encuentra en la capacidad de intercambiar energía mecánica del fluido que atraviesa en el circuito en otro tipo de energía generando un efecto determinado. Las máquinas mecánicas han sido usadas desde tiempos memorables, se puede detallar algunos componentes como los principales inventos históricos: bomba, la noria, el tornillo de Arquímedes, la rueda de

paletas, la rueda hidráulica de paletas, son máquinas que se constituyeron como motores en la revolución industrial [10].

➤ **Clasificación de las máquinas hidráulicas**

Según diversos criterios las máquinas de fluidos se clasifican:

- Según el sentido de la transmisión de la energía entre la máquina y fluido.
- Según la compresibilidad del fluido.
- Según el principio del funcionamiento.

a. **Según el sentido de la transmisión de la energía (máquina y fluido).**

- ✓ **Máquinas generadoras:** Comunica energía mecánica del fluido, como ventiladores, bombas, compresores: para el funcionamiento de estas máquinas generadoras se necesita suministrar energía externa.
- ✓ **Máquinas motoras:** Estas máquinas motoras extraen energía de un fluido, gas, vapor, el cual debe de estar cargado de energía potencial y cinética suficiente para el accionamiento de la misma [10].
- ✓ **Máquinas reversibles:** El diseño de las máquinas reversibles permiten alternativamente funcionar como son turbina-bomba.
- ✓ **Máquinas transmisoras:** Son máquinas que transmiten energía entre dos sistemas mecánicos (máquina motora y otra generadora) o dos fluidos ver figura 4.

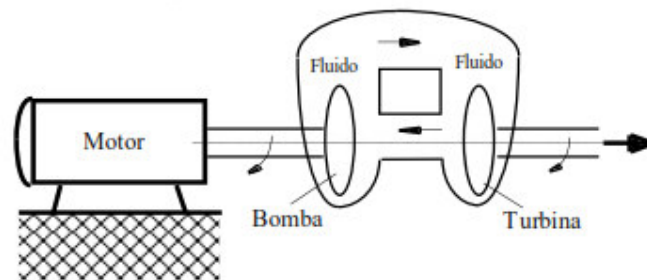


Figura 4: Esquema de transmisión hidráulica.

Fuente: [10]

- b. **Según la compresibilidad del fluido:** Esta clasificación depende de la densidad que tiene el fluido al momento de atravesar la máquina, si a lo

largo de la tubería existe sobrepresiones elevadas esta hipótesis de que la densidad del fluido no cambia se puede abandonar. También se descarta esta hipótesis cuando el fluido es unidimensional este se da por la dilatación del material de la tubería frente a diferentes fenómenos como el golpe de ariete. [10].

c. **Según el principio de funcionamiento de máquina:** se clasifican en tres clases:

- **Máquinas rotodinámicas o turbomáquinas,** son aquellas máquinas que intercambia energía de un fluido a un eje mecánico a través de una pieza giratoria ver figura 5.

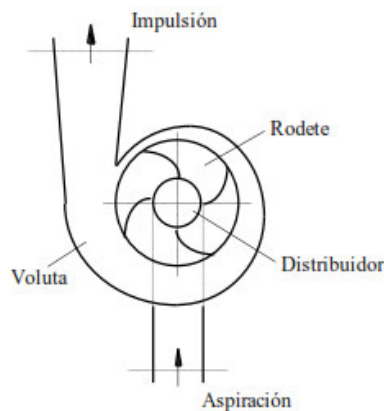


Figura 5: Bomba centrífuga

Fuente: [10]

- **Máquinas de desplazamiento positivo, (o volumétricas);** obtiene energía mediante presión por paso del fluido a través de una cámara de trabajo, siendo un proceso alternativo ver figura 6 y figura 7. Dentro de la cámara de trabajo existe un elemento que se desplaza quien absorbe la energía de paso de fluido, no existe una conexión de la entrada a la salida de flujo [10].

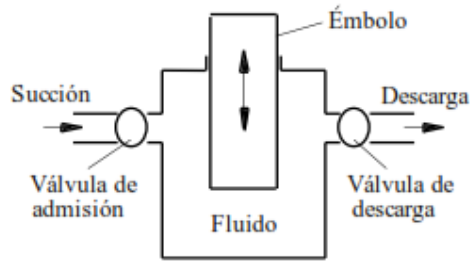


Figura 6: Máquina volumétrica o de desplazamiento-alternativa de émbolo.

Fuente: [10]

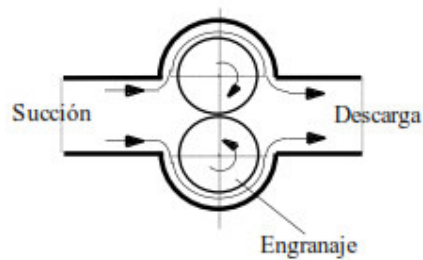


Figura 7: Máquina volumétrica o de desplazamiento-rotativa de engranajes.

Fuente: [10]

d. Clasificación de las turbinas según su grado de reacción

Se clasifica en:

- **Turbinas de acción:** El agua sale del distribuidor y llega al rodete con la misma presión inicial, la energía potencial ganada por el salto es transmitida a los álabes del rodete en forma de energía cinética ver figura 8 a).
- **Turbinas de reacción:** El fluido que sale del distribuidor al ser impactado con los álabes del rodete su presión disminuye de tal manera que la presión a la salida de la turbina puede ser nula o incluso negativa, la energía potencial obtenida del salto no se

convierte en su totalidad en energía cinética, parte se convierte en energía de presión ver figura 8 b) [10].



Figura 8: a) Diagrama de turbinas de acción. b) Diagrama de turbinas de reacción.

Fuente: [10]

1.2.1.3. Características de una turbina hidráulica

Las máquinas hidráulicas son aquellas máquinas rotatorias que puede tener una o varias etapas o células en serie, la disposición de la etapa es de un elemento fijo y un móvil, (rotor o rodete, estrato), el intercambio de flujo de una turbobomba se da por su principal elemento el rotor o rodete.

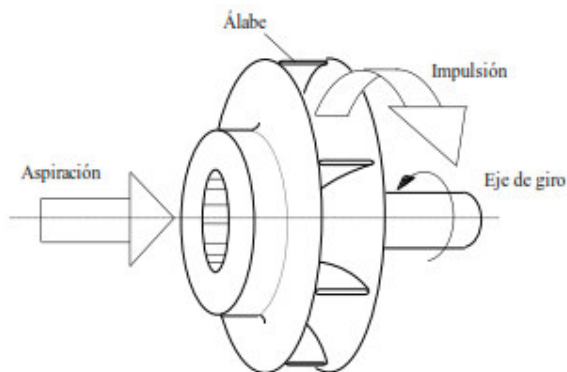


Figura 9: Trayectorias que siguen las partículas perpendiculares al eje de giro, con velocidad radial y acimutal

Fuente: [10]

Las máquinas hidráulicas se pueden clasificar según el flujo que atraviesa, radiales, axiales, mixtas. **Las máquinas radiales:** son aquellas máquinas en las que las partículas de fluido ingresan perpendiculares al eje, ver figura 9, **Las máquinas axiales:** son aquellas en las que las partículas de flujo atraviesan la superficie de revolución paralelas al eje, como son las turbinas

Pelton [10], ver figura 10, *Las máquinas mixtas*; la trayectoria del flujo de partículas se encuentran contenidas en la superficie de revolución esta no cilíndrica por lo que se comporta indistintamente acercándose y alejándose del eje, como son las turbinas Francis [10], ver figura 11.

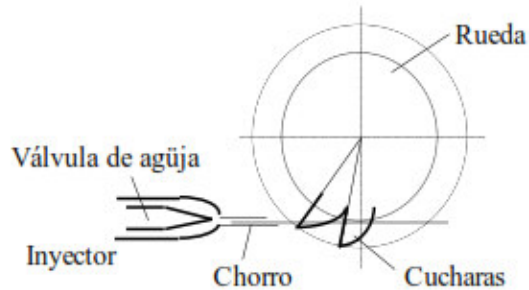


Figura 10: Esquema básico de una turbina de acción tipo Pelton

Fuente: [10]

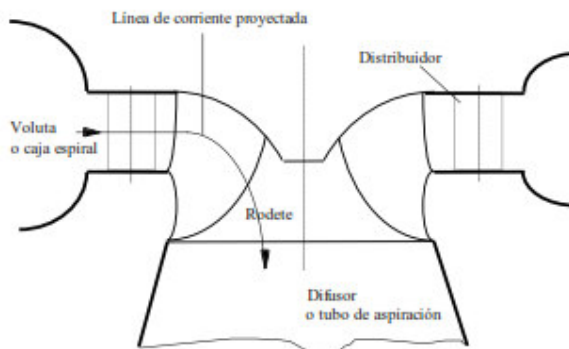


Figura 11: Esquema básico de una turbina de reacción Francis típica

Fuente: [10]

1.2.1.4. Turbina Pelton

Las turbinas de impulso son usadas en plantas generadoras de electricidad que sobrepasan los 1800 metros de altura con caudales bajos y una eficiencia máxima del 92% [11]. La turbina Pelton o turbina de eje axial se encuentra conectado a un generador o a un punto de entrega de potencia del eje (sistema de engranes, polea, etc.), mismo que es accionado por el flujo de fuerza axial del agua proveniente del inyector contra las aspas de la turbina ver figura 12 [1].

La turbina Pelton fue inventada en 1870 por el estadounidense Lester Pelton de ahí su nombre. Posteriormente se inventaron distintos modelos de turbina, pero es la más utilizada por su eficiencia, el diseño de la turbina Pelton es sencilla consta de un disco circular conectado a un eje en su centro y a sus extremos se encuentran conectados a álabes [12].

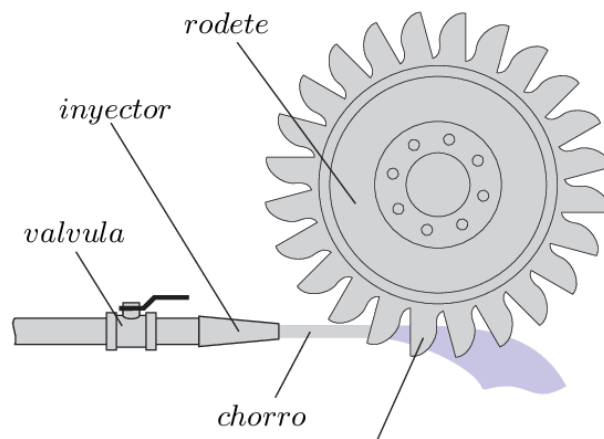


Figura 12: Partes turbina Pelton.

Fuente: [10]

Partes de la turbina Pelton

➤ **Inyector**

El inyector es un sistema el cual permite transformar la energía potencial de presión en energía cinética, está constituido por dos componentes principales, la válvula de aguja y una tobera como se observa en la figura 13. La válvula insertada actúa como una compuerta reguladora de caudal, la regulación del caudal depende directamente de la demanda de la turbina, en un extremo inyector se encuentra una llave la cual permite regular el paso del flujo de agua, este sistema es usado en longitudes cortas de tuberías forzadas con menor velocidad de flujo de agua. En longitudes mucho mayor no es recomendado debido a que la velocidad de flujo es alta y un cierre rápido podría causar el golpe de ariete [1].



Figura 13: Inyector

Fuente: [1]

La tobera es el componente de inyector que tiene una forma geométrica apta para la transformación de la altura neta de agua en energía cinética del chorro a la salida del inyector.

➤ **Álabes**

Los álabes de la turbina están empernados al rodete o fundidos en una sola pieza, están diseñados geométricamente para aprovechar al máximo la energía de chorro de agua, los álabes están divididos simétricamente para dividir el chorro de agua dirigiéndolo por el perfil geométrico al filo de la salida con una baja velocidad. En la figura 14 se puede observar los álabes de la turbina empernados al rodete el cual garantiza el constante contacto del chorro de agua en cada uno de los álabes [1].

Los materiales de construcción normalmente se fabrican de acero inoxidable o bronce, este debe de garantizar diversos factores a los que se va encontrar expuesto como son: resistentes a corrosión, desgates, cavitación etc. La cara de los álabes debe de tener como mínimo 10 veces la superficie del chorro entregada por el inyector, si la cara es demasiado pequeña se llenará de agua, producirá remolinos y no se estaría aprovechando la energía, de la misma manera si es demasiado grande existiría pérdidas por fricción disminuyendo la eficiencia de la turbina [1].



Figura 14: Álabes de una turbina Pelton, empernadas al rodete.

Fuente: [1]

➤ **Eje de turbina**

El eje de la turbina está unido rígidamente al rodete de la turbina y a los cojinetes, conectado al generador, los cojinetes deben de tener un sistema de lubricación eficaz garantizando su correcto funcionamiento y vida útil [13].

➤ **Deflector**

Dispositivo giratorio en el inyector ubicado entre la salida del inyector y los álabes que obstaculiza el paso del chorro de agua con mayor o menor incidencia [1], provocando el desvío del chorro de agua en un porcentaje o en su totalidad, este dispositivo ayuda a aliviar la presión de un cerrado rápido de caudal y evitando el golpe de ariete común en las turbinas de impulso ver figura 15.

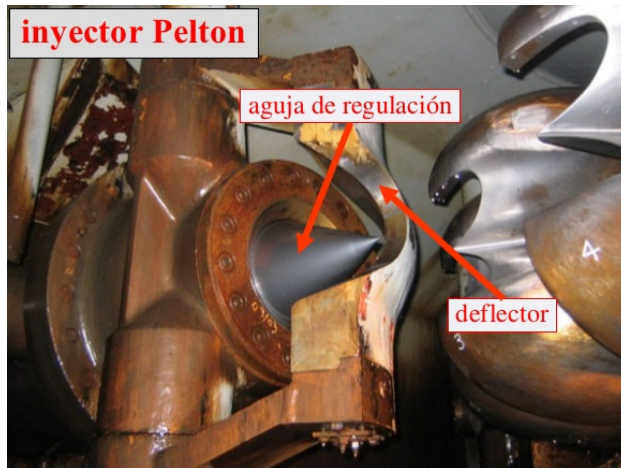


Figura 15: Inyector Pelton, salida inyector, deflector

Fuente: [14]

➤ **Carcasa**

La carcasa es la envoltura metálica que cubre los elementos mecánicos de la turbina (álabes, inyector, etc.) [13], se encuentra sellado, la función es evitar que el agua se disperse en cualquier dirección después de incidir en los cangilones dirigiéndola a la zona de descarga figura 16.



Figura 16: Carcasa

Fuente: [13]

1.2.1.5. Carga de la turbina

La carga de turbina se puede definir como la diferencia que existe entre el nivel libre aguas arriba y el punto de liberación de caudal aguas abajo, este es uno de los primeros parámetros que determina el potencial de la

instalación y aprovechamiento de la energía. La potencia neta de la altura pierde en un bajo porcentaje debido a la rugosidad de la tubería (pérdidas por carga de fricción), adicionales las pérdidas por accesorios. Este concepto define como carga total existente en el punto de instalación menos las pérdidas existentes en la trayectoria se obtiene la altura neta a la cual la turbina va a operar [1].

1.2.1.6. Eficiencia de una turbina

La eficiencia de una turbina es la relación entre la potencia que entrega el eje y la potencia que el fluido entrega a la turbina, los cuales se diferencian por perdidas mecánicas e hidráulicas [1]. A menos pérdidas mecánicas la eficiencia hidráulica será mayor, a mayor eficiencia hidráulica mayor la eficiencia de la turbina.

Propiedades físicas de los fluidos

Densidad (ρ): La densidad de un flujo es su masa neta por unidad de volumen

$$\rho = \frac{m}{v} \left[\frac{kg}{m^3} \right] \quad (\text{Ec. 1})$$

Peso específico (γ): Es la fuerza de la gravedad ejercida sobre la unidad de volumen de dicho fluido

$$\gamma = \frac{g}{v} \left[\frac{N}{m^3} \right] \quad (\text{Ec. 2})$$

Volumen específico (v): Volumen ocupado por la unidad de peso de dicho fluido.

Densidad relativa (δ): La razón de la densidad del agua pura a la temperatura normal 4 °C

$$\delta = \frac{\gamma_{\text{liquido}}}{\gamma_{\text{agua}}} = \frac{\rho_{\text{liquido}}}{\rho_{\text{agua}}} \quad (\text{Ec. 3})$$

Viscosidad: Es la facilidad que un fluido posee para deslizarse sobre una superficie al aplicar una fuerza externa.

Presión de un fluido: Es la fuerza ejercida por unidad de área.

1.2.1.7. Ecuaciones fundamentales

- a. **Ecuación de la continuidad:** Se considera dos secciones rectas como se observa en la figura 17, sección A1 y sección A2 de diferentes áreas, donde circula agua con dos velocidades diferentes de la cual se puede encontrar la igualdad siguiente:

$$A_1 * V_1 = A_2 * V_2 = cte = Q \quad (\text{Ec. 4})$$

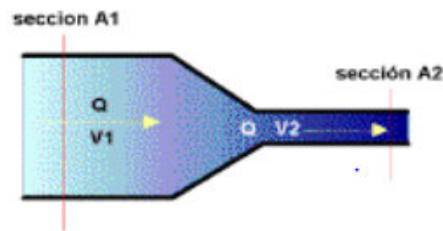


Figura 17: Diagrama de la ecuación de la continuidad.

Fuente: [10]

- b. **Ecuación de la energía:** La siguiente ecuación es aplicable para una línea de flujo de partículas permanentes uniforme sin obstrucción ni rozamiento, también conocida como ecuación de Bernoulli, es la suma de la energía cinética, energía potencia y presión entre dos distintos puntos, véase en la figura 18 del punto 1 al punto 2.

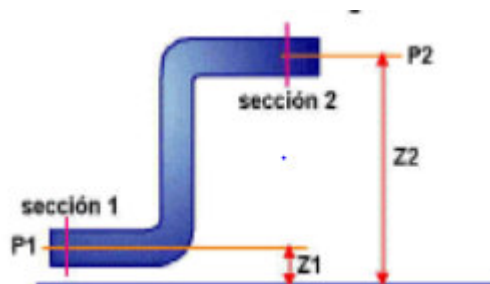


Figura 18: Diagrama, ecuación de la energía

Fuente: [10]

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} + Z_2 \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

P1 y P2= Presión en los distintos puntos

Z1 y Z2= Diferencia de altura (m)

1.2.1.8. Alturas piezométricas

Altura geométrica: es la altura máxima al nivel del eje de tubería con respecto al punto de referencia como por ejemplo el nivel del mar.

Altura piezométrica: es el resultado de la suma de altura de presión y de la altura geométrica.

$$H = \frac{P}{\gamma} + Z \quad (\text{Ec. 6})$$

Alturas totales: Es la suma de la altura de velocidad de circulación $\frac{(v)^2}{2g}$ y la altura piezométrica

1.2.1.9. Turbobomba

La turbobomba es una máquina hidráulica cuya función es el bombeo de agua sin la necesidad de ser accionada por un motor eléctrico o un motor de combustibles fósiles para su funcionamiento, los componentes de un sistema de turbobomba son la turbina y una bomba. La turbina aprovecha la energía potencial y cinética entregada por la diferencia de alturas en riachuelos, ríos, cascadas, etc., para transformarla en energía mecánica, la energía mecánica que es aprovechada por la bomba para el bombeo de agua [3].



Figura 19: Turbobomba

Fuente: [3]

➤ Válvulas hidráulicas

Una válvula se define como un dispositivo mecánico, el cual sirve para controlar el paso de cualquier tipo de líquido o gases mediante el movimiento de una pieza interna movable mismo que obstruye el paso de forma parcial o total [15].

Estos dispositivos de control son los más usados en grandes industrias, ya que permite conectar, desconectarse o abrirse de forma parcial, fácilmente controlables. Se tiene diámetros que pueden ir desde una fracción de mm hasta de 9 m, trabajando a presiones que van desde el vacío hasta 140 MPa y desde temperaturas criogénicas hasta temperaturas de 815°C [15].

A continuación, se hace énfasis en los tipos de válvulas óptimas para el estudio planteado:

Válvula de compuerta

En [15], la válvula de compuerta es un sistema de vueltas múltiples accionando en su camino un disco de cara plana que se sitúa verticalmente dentro de la bomba, este disco se mueve en ángulos rectos sobre guías ver figura 20.

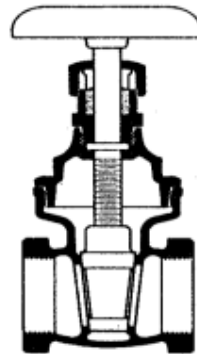


Figura 20: Diagrama válvula de compuerta

Fuente: [15]

Se usa cuando:

- Corte o apertura total de flujo.
- Cuando se requiere receptor todo el líquido atrapado en la tubería.

- Poco usado debido a que el cierre de la válvula total es lento.
- No estrangulación.
- Resistencias mínimas.

Ventajas

- Bajo coste.
- Funcionamiento sencillo.
- Cierre hermético
- Capacidad alta.

Desventajas

- Baja eficiencia en control.
- Se necesita mucha fuerza para accionarle.
- “Produce cavitación con baja caída de presión” [15].
- En su estado de funcionamiento debe de estar completamente cerrada o abierta.

Válvula de bola

Las válvulas de bola son aquellas que su apertura o su cierre corresponde a $\frac{1}{4}$ de vuelta, la bola interna gira sobre asientos elásticos, la válvula corta el paso cuando la bola gira 90° de su posición y en su posición abierta permite la circulación directa del flujo [15].

Es usada cuando:

- Se trabaja a temperaturas moderadas.
- No exista resistencia en la circulación del fluido.
- Se requiere servicio de conducción y corte de flujo.
- No estrangulación.
- Se requiere que la apertura del paso de flujo sea rápida.

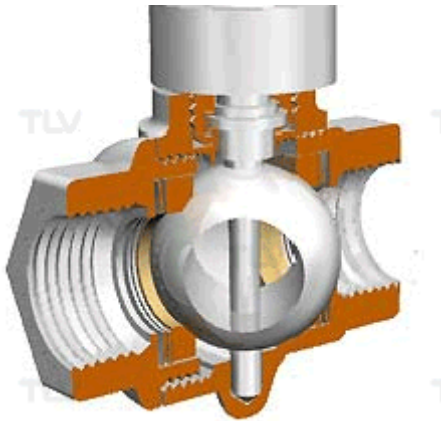


Figura 21: Diagrama válvula de globo

Fuente: [15]

Ventajas

- Cero fugas.
- Mantenimiento mínimo.
- Circulación directa.
- Capacidad alta.
- Costo accesible.
- La lubricación no es necesario.
- Corte bidireccional.
- Fácil limpieza.

Desventajas

- Vulnerable a la cavitación.
- Para accionarla se requiere de alta torsión.
- Propenso a desgastes de los empaques internos y cellos.

1.2.1.10. Dispositivos de control

1.2.1.11. Automatización

La automatización industrial es un proceso que se considera como manejo de información en tiempo real de una empresa para la toma de decisiones inmediata, incorpora informática y un sistema de actuadores automatizados para que el sistema trabaje de forma autónoma bajo un cierto lineamiento de ingeniería encaminados con el propósito empresarial [16].

En la actualidad empresas automatizan sus procesos dado que es la mejor manera de volverse competitivos, mejoramiento de los estándares de calidad, disminuir las pérdidas económicas, procesos más eficientes, reducción del trabajo físico, producción continua incluyendo días feriados o de descanso. La mejora de los procesos de automatización avanza día a día, ahora como encontrar la mejor forma de garantizar que el proceso sea eficiente y confiable. A continuación, unos tópicos metodológicos de automatización [16]:

- Investigar, observar, conocer diferentes tendencias actuales de maquinarias óptimas para ejecutar la automatización.
- Tener mente abierta, diferentes enfoques, creatividad una visión de diferentes alternativas que se podría usar para automatizar
- Ubicarse en el lugar el operario, como actuaría frente a diferentes escenarios en su puesto de trabajo, rutinas etc.
- Que procesos son factible para automatizar, tomando en cuenta la inversión que se debe de realizar versus las ganancias que esta automatización podría ofrecer, relación costo – beneficio.
- Aplicar todo lo anterior integrándole a una estrategia de índole mecánica, electrónica.
- Sistema de control

El sistema de control consiste en seleccionar un conjunto de dispositivos (neumática, mecánico, hidráulico, eléctrico etc.), variables, parámetros, funciones, lecturas etc., aplicados al sistema de trabajo que permite una función predeterminada [17]. El sistema no se puede establecer simplemente por tener un conjunto de datos o variables, este debe de tener una secuencia de 3 elementos como mínimo:

- La variable objeto de estudio que se controlara
- Un actuador de forma mecánico, hidráulico, eléctrico entre otros
- Set-Point

Por lo general existen dos grupos de variables de entrada: variables de control mismo que se puede manipular y las perturbaciones que son aquellas las cuales

no es posible realizar ningún tipo de control, funciones limitadas. En la figura 22 se puede observar el diagrama de un sistema general de control.

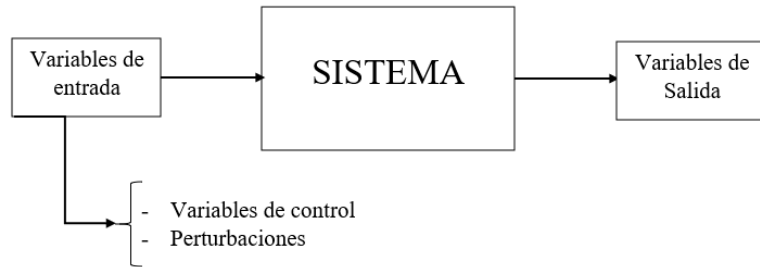


Figura 22: Diagrama de un sistema general de control

Fuente: [17]

Para un sistema de control ideal se debe de cumplir los siguientes requisitos de funcionamiento:

- Ser robusto frente a perturbaciones y garantizar estabilidad.
- Según un criterio preestablecido ser suficientemente eficiente, evitar comportamientos bruscos e irreales.
- Factibilidad de supervisión en tiempo real, facilidad de instalación.

Los elementos básicos del cual está formado un sistema son (figura 23):

- a. Sensor:** Dispositivo de medición de valores de una variable
- b. Controlador:** Calcular la acción a realizarse después de realizar una comparación de datos entre los que envían los sensores y los antes programados [18].
- c. Actuador:** Mecanismo el cual recibe y ejecuta la señal calculada por el controlador.

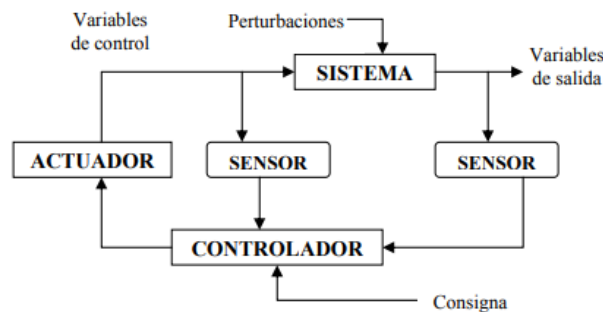


Figura 23: Esquema de un sistema de control general

Fuente: [18]

1.2.1.12. Sistema de control lazo cerrado

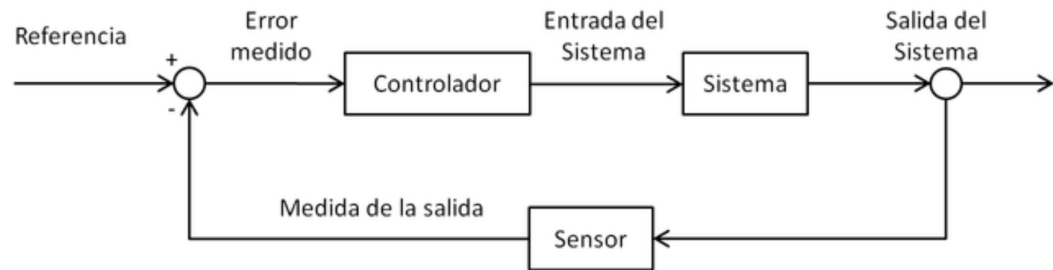


Figura 24: Sistema de lazo cerrado

Fuente: [17]

Los sistemas de control de lazo cerrado en la actualidad son los más usados para los sistemas de control ver figura 24, ya que tiene la capacidad de calcular el error medio entre la variable que se va a ser controlada y la consigna deseada donde que las perturbaciones aún desconocidas son consideradas indirectamente, estrategia aplicada a la variable que está siendo controlada [18].

1.2.1.13.Sensores

Es un dispositivo sensible que tiene la capacidad de detectar, medir una magnitud misma puede ser física o química también conocidas como variables de instrumentación y transformarla variables eléctricas usando un transductor. Los sensores o transductores pueden entregar dos tipos de señales digitales y analógicas [19].

Las variables de instrumentación son de diferentes tipos como son de temperatura, distancia, caudal, revoluciones, intensidad lumínica, desplazamiento, fuerza, movimiento, velocidad, aceleración, etc., estos dispositivos siempre están cerca o en contacto con la magnitud para detectar la señal [19].

1.2.1.14.Señal Analógica

Es aquella que la señal que se encuentra variando constantemente a través del tiempo como se puede observar en la figura 25, las señales analógicas en su mayoría representan una magnitud física (humedad, velocidad, temperatura, etc.) y se puede tomar más de dos valores en un intervalo de

tiempo mientras que la señal digital solo puede tomar dos valores [20]. Las señales analógicas se encuentran en nuestro diario vivir, en la naturaleza tales como son el sonido, la energía, la luz etc., estas señales varían constantemente.

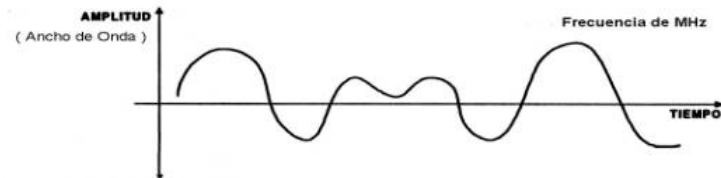


Figura 25: Comportamiento de la señal analógica en un tiempo determinado

Fuente: [20]

1.2.1.15. Señal Digital

La señal digital representa una variación discontinua a través del tiempo (pulsos) la misma que puede tomar ciertos valores, la gráfica de la señal es en forma de onda cuadrada representada en su dominio en el tiempo figura 26. Los pulsos representados en ondas cuadradas tienen ciertos parámetros que la definen [20]:

- Alto del pulso
- Frecuencia con la que se repite la acción (velocidad por segundo)
- Ancho del pulso (tiempo en el que se mantuvo pulsado).

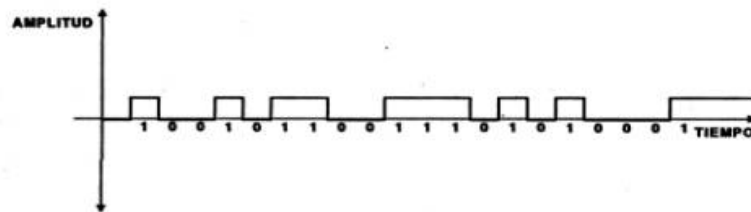


Figura 26: Comportamiento de la señal digital en un tiempo determinado

Fuente: [20]

A diferencia de las señales analógicas estas no se pueden encontrar en la naturaleza, estas señales digitales son creadas por el hombre y se debe dar un

tratamiento particular, estas señales digitales pueden transmitir diferentes tipos de información por ende las señales digitales pueden ser binarias si son dos, si son tres ternarias y así sucesivamente, estos modos son representado en valores de unos y ceros denominado contenido lógico. La señal digital a través del tiempo va realizando saltos a un punto máximo y a un punto mínimo variando entre señal discreta y continua [20].

1.2.1.16. Microprocesadores

Un microcontrolador es un dispositivo integral programable consta de 4 elementos básicos entradas y salidas un microprocesador (CPU) y memorias (ROM y RAM), tiene bloques similares a la de una computadora. Este dispositivo es usado para controlar uno o varios procesos, en los últimos tiempos han sido revolucionario el avance y la implementación de los dispositivos en los procesos de control y automatización.

1.2.1.17. Microcontrolador

“Se considera microcontrolador aquel dispositivo electrónico que tiene una arquitectura física ya establecida, mismos que es de uso programable de forma secuencial” [21]. Un proceso que use un recurso hardware tendrá una secuencia siempre uno detrás del otro, la posibilidad de realizar un proceso de forma paralela no es posible realizar, para lo cual es indispensable el uso de otros dispositivos electrónicos al mismo tiempo.

Según [19] “se considera conector electrónico a un solo dispositivo encapsulado el cual tiene una particularidad principal el ser programable, se encuentra capacitado para actuar de forma autónoma si tener previas instrucciones programables”

1.2.1.18. Procesador

Es la parte principal del dispositivo “cerebro” quien se encarga del almacenamiento, decodificación y ejecución de datos dependiendo de la programación previa al funcionamiento.

1.2.1.19. Memoria no volátil

La memoria no volátil es la encargada de almacenar las instrucciones de programación, estas pueden ser (ROM, OTP, EPROM) ya la selección dependerá de la aplicación posterior.

1.2.1.20. Memoria de datos (RAM)

Memoria de trabajo usado para el almacenamiento de variables, cambios de información que se presentan en la ejecución del programa, para la cual es necesario de una memoria de lectura y escritura. La más usada es la memoria RAM.

1.2.1.21. Puertas de entrada y salida

Son aquellos puertos que permiten comunicar el dispositivo electrónico con el exterior emitir y recibir señal estos pueden ser de sensores y/o dispositivos externos, pueden recibir señales tanto analógicas como digitales.

1.2.1.22. Comunicación inalámbrica

La comunicación inalámbrica es la tecnología actual, misma que permite comunicar dos puntos o más puntos de adquisición de datos a diferentes distancias e interactuar, enviar y recibir información de forma remota, la misma debe de regir por un sistema puntal un procesador para el análisis, comparación de datos y posterior ejecución [22].

1.2.1.23. Relés

Un módulo de relés, relevador o relés electromagnéticos es un dispositivo que permite abrir y cerrar el paso del corriente funcionado básicamente como un interruptor. El relé en su estructura interna contiene un electroimán el cual abre o cierra el paso en función de la señal de entrada (común). Normalmente un relé tiene dos contactos abiertos (NC) y cerrados (NO) ver figura 27, pero en determinados casos dependiendo del uso pueden tener más [20].

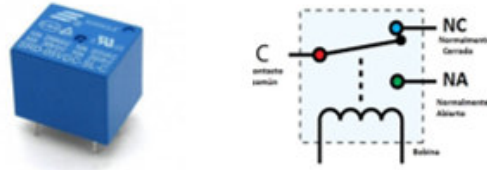


Figura 27: Diagrama interno de un relé

Fuente: [20]

Módulo de relés de 4 canales

El módulo de relé de 4 posiciones se usa para conmutar potencia de hasta 10A y 230V figura 28. Las entradas del sistema de control están protegidos con optocopladores mismo que ayudan a disminuir el ruido que percibe al momento de realizar la conmutación interna por el electroimán. La señal de entrada para control de los relés puede ser de tipo TTL o CMOS de cualquier tipo de microcontrolador [23].

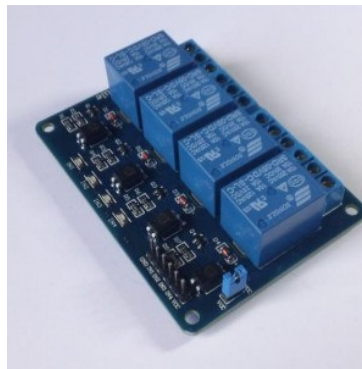


Figura 28: Módulo relay de 4 canales

Fuente: Autor

1.2.1.24. Arduino

“El Arduino tiene un número de pines hembra inmersos en una placa conectados a un microcontrolador el cual es reprogramable, cuenta con software libre” [24] este dispositivo de conexión rápida facilita la conexión de un sinnúmero de actuadores, La multiplataforma software del Arduino se puede acceder libremente desde su plataforma web sin costo incorporarlo a un Pc, mediante cable USB se enlaza con el Arduino, el software permite, almacenar datos, palabras, secuencias, números, caracteres, etc. El voltaje para su

funcionamiento es 5V corriente continua [25], el diagrama de conexión de control de proyecto puede encontrar en el anexo T.

1.2.1.25. Características de la placa de Arduino

La placa de Arduino es comúnmente usada para automatizar diferentes procesos, desde su creación se ha ido adaptando a las necesidades del usuario y evolucionando conforme los años ver figura 29, [25].

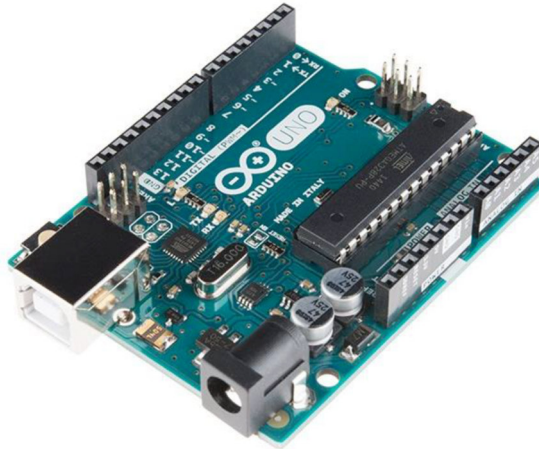


Figura 29: Diagrama estándar, Arduino UNO

Fuente: [25]

El Arduino UNO cuenta con 13 pines E/S digitales los cuales se pueden usar como entradas o salidas, a la entrada para leer señales enviados por los sensores u otros dispositivos de recolección de datos, la salida se usa para enviar señal a los controladores y/o actuadores. Adicional, cuenta con 5 pines de entrada analógicos que permite leer valores de voltaje se puede medir 1024 diferentes valores de voltaje. Los pines 3, 5, 6, 9, 10 y 11 en el caso que se requiera se puede usar como salidas analógicas [25], en la tabla 1 se puede encontrar características adicionales del microprocesador Arduino.

Tabla 1: Datos técnicos del microprocesador

Fuente: [25]

Datos Técnicos Microcontrolador	
Designación	UNO
Tensión nominal	5V
Voltaje de entrada	7-12V

Pines digitales	I/O 20 mA
Canales PWM	7
Pines entrada analógicos	12
Corriente AC para Pin	3.3V 50 mA
Velocidad de reloj	16 MHz
Longitud	48 mm
Anchura	18 mm
Peso	13 g

1.2.2. Seleccionar el material adecuado para la construcción mecánica y los elementos para la elaboración del sistema de control

Para la selección de los materiales de control se usó el diagrama de flujo descrito en el punto 1.3 y otros parámetros como son; voltaje, tipo de señal, amperaje, costo, factibilidad de adquisición, catálogos, pruebas de funcionamiento etc., muchos de los componentes secundarios también se seleccionaron de acuerdo con la disposición de la válvula motorizada y del caudalímetro que se disponía.

1.2.2.1. Diagrama de lazo cerrado

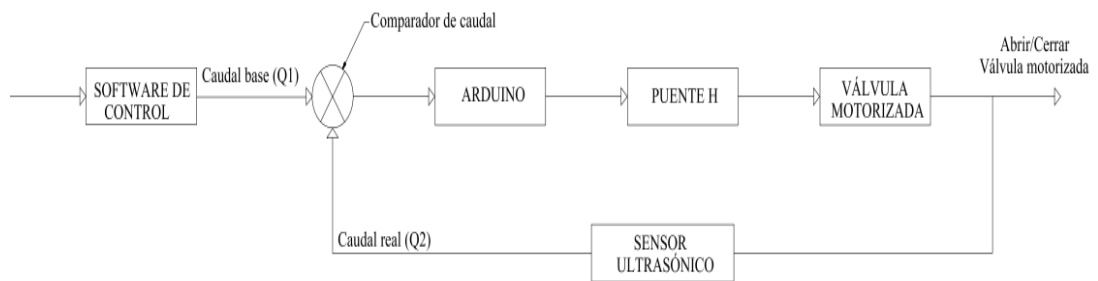


Figura 30: Diagrama de lazo cerrado del sistema de control

Fuente: Autor

En la figura 30 se muestra el diagrama de lazo cerrado para el funcionamiento del sistema de control, inicialmente el usuario interactúa con la interfaz del LabWIEV insertando los parámetros necesarios que solicita el programa.

El caudal base (Q1) es la variable de entrada principal que el usuario debe de ingresar al programa este valor será el Set Point, el software compara los dos

valores de caudal (caudal base $Q1$ con el caudal real $Q2$) y emite una acción válvula motorizada para abrir o cerrar respectivamente. Para la retroalimentación se requiere calcular señal de error del sistema está valor se calcula usando la ecuación 7.

$$e(S) = Q2_r - (Q1_b) \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

$e(S)$ = Señal de error del sistema.

$Q2_r$ = Valor del caudal retroalimentado.

$Q1_b$ = Valor del caudal base.

Existen dos resultados posibles:

- **El nulo:** El valor de la señal de error del sistema se encuentra dentro del rango $e(S) = (0+2)$, en este punto el software no envía ningún pulso a la válvula, esta realiza ninguna acción

- **El no nulo:** Para este resultado no nulo existen dos casos, en el primer caso cuando el valor de $e(S) > 2$, el sistema enviará pulso del cierre de la válvula motorizada ya que existe un exceso de caudal y en el segundo caso que el $e(S) < 0$, es decir cualquier valor negativo la válvula motorizada recibe pulsos de apertura.

La retroalimentación del sistema de control se ejecutará las (n) veces, hasta cumplir el tiempo de ensayo programado. Durante el ensayo se puede aumentar o disminuir el caudal base ($Q1$) de requerirse variar las revoluciones en la turbina.

1.2.2.2. Válvula motorizada

Las válvulas motorizadas son dispositivos de control industriales esenciales por su diseño y materiales, estos dispositivos permiten controlar el flujo de caudal que pasa por el interior abriendo y cerrando en su totalidad o bien regulando el pasado del caudal frente una necesidad final.



Figura 31: Válvula motorizada 2 pulgadas

Fuente: HONEYWELL

Descripción de una válvula motorizada

Los conjuntos de componentes de una válvula motorizada son (figura 31):

- La válvula
- El actuador
- El yugo

La válvula en si puede de ser globo, bola, mariposa, compuerta etc., esta es unida por el puente o yugo siendo el nexo con el actuador, es un componente puramente pasivo, pero de gran importancia, la deformación producida en el nexo nos sirve para la diagnosis de la fuerza ejercida por el vástago durante el trabajo [26].

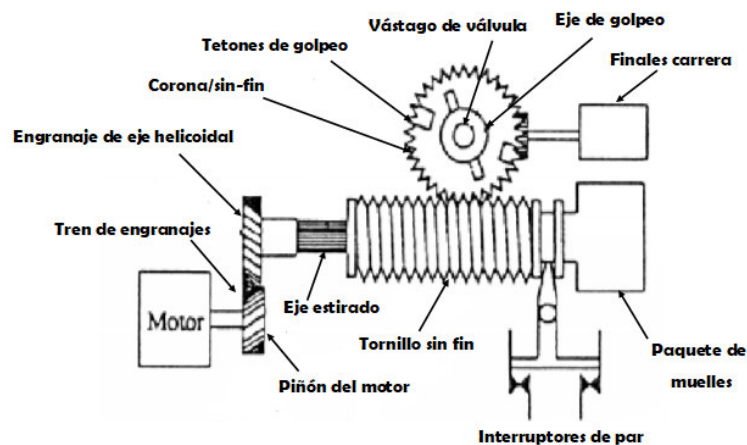


Figura 32: Esquema de un actuador

Fuente: [26]

En la figura 32 se encuentra el esquema de un actuador de una válvula motorizada [26].

1. Motor eléctrico
2. Paquete de muelles
3. Finales de carrera
4. Interruptores de par
5. Eje de golpeo
6. Eje estirado
7. Corona-sin fin
8. Tren de engranajes
9. Vástago de válvula
10. Tetones de golpeo

El actuador desarrolla un proceso cuidadosamente controlado para el buen funcionamiento, el motor se activa, el par de fuerzas producido es transmitido a una corona esta se encuentra conectada a un tornillo sin fin. El tornillo sin fin giratorio se mueve transversalmente transmitiendo el par de fuerza a la corona, la corona con ayuda de los tetones (figura 32) gira la tuerca conectada con el husillo provocando el cambio la posición (ON/OFF) de la válvula [26].

El husillo cuando encuentra un obstáculo en su trayectoria, la resistencia encontrada es transmitida a la tuerca, de la tuerca se transmite a lo tetones conectados a la corona, de la corona al tornillo sin fin, en esta instancia el motor se desactiva por ende el tornillo sin fin y la corona actuará como piñón cremallera desplazándose hasta el final de carrera donde los mulles son comprimidos activando el final de carrera y parando el funcionamiento del motor [26].

La válvula motorizada cuenta con 4 sensores como finales de carrera ubicados estratégicamente, son sincronizadas en función de su diseño. Los sensores son encargados de marca la apertura o el cierre de la válvula enviando una señal de paro al motor eléctrico al culminar la trayectoria en esa posición [26].

Los tetones ubicados en la corona tienen como finalidad evitar que motor se active con carga, antes que los tetones entren en contacto con la tuerca

conectada al husillo tendrá que recorrer 180° donde el motor trabajará sin carga cuidando su vida útil.

1.2.2.3. Policloruro de vinilo (PVC)

El PVC tiene cadenas lineales macromoleculares poco ramificadas, se trata de un homopolímero de cloruro, su contenido de cloro teórico en la composición es de 57 % con su fórmula química (CH₂CHCl) n. El cloruro de vinilo se presenta en varias formas por lo cual existen diferentes tipos de PVC, en la tabla 2 se encuentran las características del material en mención [27].

Tabla 2: Propiedades PVC

Fuente: [27]

POLICLORURO DE VNILO		
PROPIEDADES GENERALES	CARACTERISTICAS	UNIDAD
Densidad	1.3-1.58	g/cm ³
Cristalinidad	Amorfo	N/A
PROPIEDADES MECÁNICAS		
Módulo elástico	2.14 - 4.14	Gpa
Coeficiente de Poisson	0.383 - 0.407	N/A
Resistencia mecánica a la compresión	42.5 - 89.6	Mpa
Resistencia mecánica a la tracción	40.7 - 65.1	Mpa
Tenacidad a fractura (KIc)	1.46 - 5.12	MPa·m ^{1/2}
PROPIEDADES ELÉCTRICAS		
Constante dieléctrica T(amb)	3.1 - 4.4	
PROPIEDADES TÉRMICAS		
Temperatura de transición vítrea	74.9 - 105	°c
Coeficiente de expansión lineal T(amb)	50·10 ⁻⁶ - 100·10 ⁻⁶	1/ °C
Conductividad térmica T(amb)	0.147 - 0.293	W/m·K
Capacidad calorífica específica	1.36e3 - 1.44e3	J/kg·K
PROPIEDADES TEGNOLÓGICAS		
Temperatura mínima de utilización	(-123) - (-73.2)	°c
Temperatura máxima de utilización	60 - 70	°c
Mecanización	Mediana	N/A
Soldabilidad	Polímero altamente soldable	N/A

En la tabla 3 se muestra las características del PVC para su respectiva calibración del dispositivo ultrasónico [28].

Tabla 3: Velocidad de los medidores ultrasónicos.

Fuente: [28]

Descripción del material (Símbolo/grupo químico)	Nombre del material	Velocidad del sonido (m/sec)	Velocidad del sonido (in/ μ sec)	Fuente del valor NPL = National Physics Laboratory ASNT = The American Society for Non destructive Testing Sector = conocimiento del sector
No metal	PVC	2330	0.092	NPL

1.2.2.4. Caudalímetro ultrasónico

El caudalímetro ultrasónico método no intrusivo, es tecnología ultrasónica que permite medir el flujo de caudal entre dos puntos situados a una distancia indicada por el fabricante frente a las condiciones de funcionamiento [29], estos sensores están conectados a la caja de mando donde una pantalla LCD permite visualizar los valores de caudal que se registren.

En la figura 33 se puede observar el dispositivo desde la parte central inferior se puede adaptar a un sistema de rieles de sujeción, los dos sensores quienes registran el flujo de caudal estos deben de ser ubicados en la superficie de la tubería adheridos con abrazaderas metálicas u otros métodos de sujeción, entre la superficie de los sensores y la tubería debe recubrir con una película de aceite o gel [2].



Figura 33: Caudalímetro ultrasónico y sus sensores correspondientes

Fuente: [2]

1.2.2.5. Principio de funcionamiento del caudalímetro ultrasónico

Los sensores deben de encontrarse adheridos a la tubería uno aguas arriba y otro aguas abajo, a la distancia indicada por el fabricante la misma que dependerá de

las condiciones de trabajo y del tipo de fluido [2], cada sensor emite una señal las mismas que forman una V, una viaja a favor de la dirección del fluido y la otra en contra de la dirección del fluido como se observa en la figura 34, existe una diferencia de tiempo en la recepción de señal siendo la velocidad promedio del flujo que viaja por la tubería. Estos datos serán comparados con un caudal base insertado y mediante la acción de la válvula motorizada estabilizará el caudal.

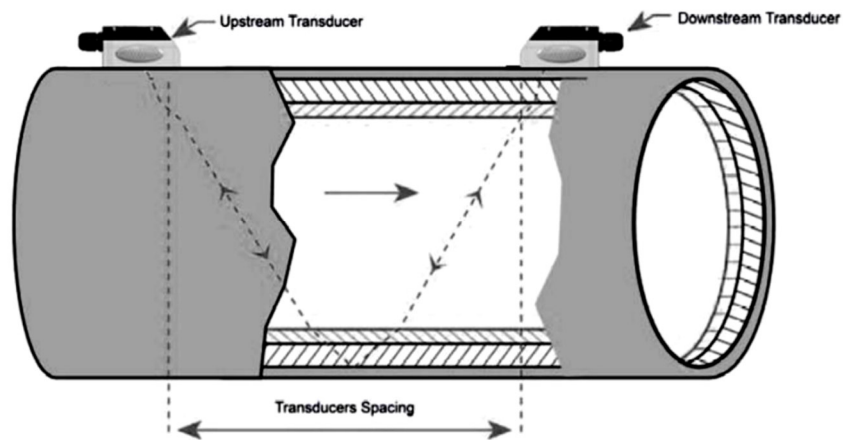


Figura 34: Diagrama del funcionamiento de los sensores

Fuente: [2]

1.2.2.6. Medidor de revoluciones

Un tacómetro es un dispositivo para medir la velocidad de giro de un eje en revoluciones por minuto, en función de su aplicación existen distintos tipos de sensores que permiten medir las vueltas por minuto de un eje y enviarlo a un procesador. A continuación, se detalla sensores óptimos según la necesidad de trabajo:

- **Sensor Hall**

Este dispositivo permite realizar mediciones de campos magnéticos, dispositivos con amplia aplicación en la industria automovilística. Se puede usar de la misma manera para medir velocidad de fluidos, detectar metales etc., una de las ventajas del sensor hall es que permite medir a distancia, no requiere estén en contacto con el objeto a medir, lo cual prolonga su vida

útil ya que no está expuesto a desgaste, inmune al polvo y ruido lo que prolonga la vida útil del sensor figura 35, [30].

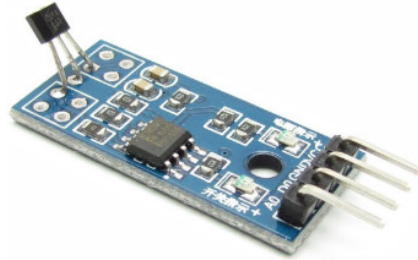


Figura 35: Sensor hall.

Fuente: [30]

- **Encoder incremental monovuelta**

Los codificadores incrementales son dispositivos transductores electromecánicos de tipo rotatorio que se usan para medir grosor, ángulos y velocidades rotacionales., asegurando gracias a las innovaciones electrónicas una alta resolución y gran precisión. Este dispositivo convierte a un código digital la posición angular de un eje se muestra en la figura 36, [31].



Figura 36: Encoder incremental monovuelta

Fuente: [31]

- **Encoders incremental de cuadratura**

Los encoders de cuadratura usa dos sensores desplazados $\frac{1}{4}$ entre ellos, los sensores ópticos generan dos señales digitales A y B desfasados 90° entre ellos o en cuadratura estas señales ayudan a suministrar datos de velocidad de giro del eje figura 37, [32].

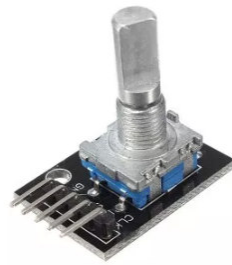


Figura 37: Encoder incremental de cuadratura

Fuente: [32]

1.2.2.7. Software del sistema de control y almacenamiento de datos.

El software tiene varias extensiones las cuales se activa dependiendo del tipo de programación a realizarse, la programación en Arduino se compone de dos partes, las mismas son necesarias en la programación, estas funciones encierran el código de programación en dos bloques que contienen declaraciones o instrucciones de uso [17].

El software Arduino tiene una plataforma de programación divididos en dos bucles el setup () encargado de abarcar las declaraciones de las variables, ejecutable una sola vez usado para configurar los pinMode E/S y el Loop () bloque de ejecución cíclica del programa (loop – bucle), activación de los actuadores ver figura 38.

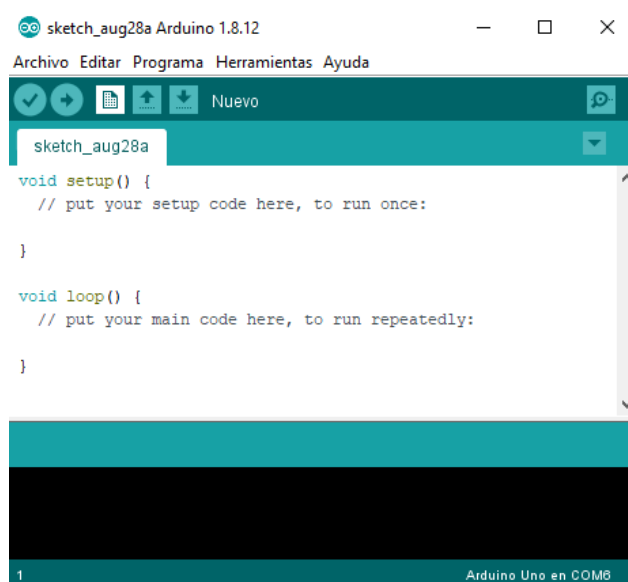


Figura 38: Software de Arduino

Fuente: [17]

1.2.2.8. LabVIEW

La plataforma de programación gráfica LabVIEW que viene del acrónimo Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench, fue creada por National Instruments, empresa desarrolladora de plataformas de programación fundada en 1976, en Texas. LabVIEW fue presentado en el año 1986 su producto con su primera versión 1.0 desde ahí ha vendido lanzando nuevas versiones mejoradas [33].

LabVIEW es una plataforma de programación gráfica, diseñada para uso en aplicaciones de equipos electrónicos, diseñar sistemas, hardware y software en los cuales se pueda realizar pruebas, simulaciones, entrada de datos, procesamiento, almacenamiento y ejecución de los mismos. LabVIEW cuenta con dos ventanas a las mismas que se nombra como: panel frontal y diagramas de bloques [33].

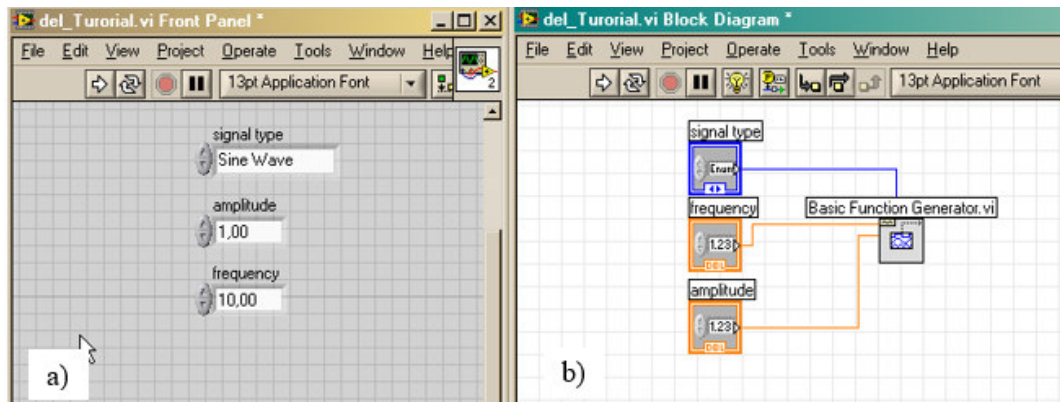


Figura 39: a) Panel frontal, b) Diagrama de bloques

Fuente: [33]

- **Panel Frontal:** Ventana que el usuario verá, en esta ventana se visualizará toda la estructura superficial de programa y del cual podrá darle el uso respectivo facilitando la visualización de gráficas, datos actualizados en tiempo real, tiene fondo gris ver figura 39 a).
- **Diagrama de bloques:** La segunda ventana se encuentra toda la línea de programación, contiene iconos cada uno con una determinada funcionalidad se encuentran interconectados entre sí, tiene fondo blanco ver figura 39 b).

El diagrama de bloques y el panel frontal están conectados con elementos recolectores de datos, entradas y salidas denominados terminales. La principal característica de la plataforma de programación es de fácil manejo, puede ser usada por personas que tienen poco conocimiento de programación o por expertos en el ámbito, se puede realizar programas extremadamente complejos imposibles de realizar con leguajes de programación tradicionales. Los programas que se realizan y se almacenan de LabWIEV son llamados (VIs) instrumentos virtuales, para aplicaciones complejas el software permite almacenar miles de VIs semejante a cientos de páginas de código [33].

1.2.3. Realizar pruebas de funcionamiento

Las consideraciones tomadas para ubicar el lugar donde se realizaron las pruebas de funcionamiento fueron diversas, se realizó inspecciones en diferentes cascadas dentro de la provincia Tungurahua como la cascada “El silencio” de la parroquia Ulba, la cascada “Jun Jun” del cantón Quero y la cascada Cal y Piedra del cantón Mocha, tras analizar factibilidad de ingresar los materiales, máquinas, la irregularidad del terreno, costos etc. Se eligió la cascada Cal y Piedra. Se realizaron tres distintas instalaciones de todo el equipo en la cascada a lo largo de todo el ensayo en las cuales se despejaron dudas y se pulieron detalles hasta tener un sistema funcional

La cascada Cal y Piedra se encuentra ubicada en el caserío Chilcapamba a 15 minutos del Cantón Mocha, Provincia de Tungurahua figura 40, la cascada está formada por dos toboganes de agua de aproximadamente 12 metros de altura.



Figura 40: Cascada Cal y Piedra

Fuente: Autor

Inspección del lugar

Para que la instalación sea factible depende de muchos parámetros como es la altura, facilidad de instalación, accesibilidad y la señal Wifi que se requiere para la transferencia de datos para lo cual se realizó una previa exploración del lugar ver anexo B.

Para la obra civil e instalación del equipo de control se necesita de los siguientes equipos:

1.2.3.1. Instalación del sistema obra civil

➤ Arenero

La obra civil es una de las partes más importantes en la instalación de una pequeña central en este caso la instalación de la tubobomba ver figura 41, para la instalación de obra civil se ejecutaron estos siguientes pasos:

- Ubicar aguas arriba un lugar óptimo donde se concentre gran cantidad de agua y también con el espacio necesario para realizar la instalación del arenero.
- Usando los materiales adecuados se procedió a instalar la tubería cuidando que no exista ingreso de piedras, arena, desperdicios, peces usando una malla cernidora cuidando y salvaguardando tanto la vida acuática como la integridad de la turbina



Figura 41: Instalación del arenero

Fuente: Autor

➤ **Tubería forzada**

Tubería de pared estructurada corrugada externamente y lisa internamente, garantiza rigidez mayor con tecnología en las paredes, garantizando la no penetración de las raíces herméticas por sus uniones herméticas anexo D, [34].

Especificaciones técnicas

- Resistente al aplastamiento, 320 N
- Vida útil 50 años
- Material Pvc
- Temperatura de trabajo 24 ° C
- Fabricado bajo NTE-INEN 2059
- Tubo curvable
- Resistencia a la corrosión
- Fácil limpieza

1.2.3.2. Componentes del sistema mecánico

➤ **Acoples para manguera**

Acople rápido tipo D SS316 304

En la figura 42 se puede observar un acople rápido estos facilitan la unión entre mangueras, acoplamiento tipo camlock reduce tiempo de trabajo y mano de obra. Estos dispositivos son usados en diferentes áreas de la industria (aeroespacial, metalúrgica, municipal) accesorios para barcos etc., los detalles técnicos y mecánicos se especifican en el anexo E, [35].



Figura 42: Acoplamiento camlock 4 pulgadas.

Fuente: Autor

➤ **Válvula motorizada**

La válvula motorizada se instalará 5 metros antes del caudalímetro la válvula de tipo DN25, es la encargada controlar el caudal para aumentar o reducir las revoluciones (rpm) de eje de la turbina, estos valores serán controlados desde el programa LabWIEV. Las características de la válvula motorizada se encuentran en la tabla 4.

Tabla 4: Datos técnicos de la válvula motorizada

Fuente: Honeywell

Datos Técnicos Válvula Motorizada	
Tamaño del producto	2"DN25
Tensión Nominal	24 V
Tipo de rosca	NTP
Presión de trabajo Max.	1MPa/10BAR
Tipo de control	CR202 - CR502
Material	Acero inoxidable
Abrir/Cerrar Tiempo	≤ 13 Seg.
Angulo de rotación	90°
T° Líquidos	2°C - 90°C
Anulación Manual	NO
Longitud de Cable	0,5 m
Indicador	Si
Protección	IP67

➤ **Turbina – bomba**

Equipo existente en los laboratorios de la FICM turbina Pelton, diseñada y construida por tesistas de la facultad [1], la energía obtenida por el paso de caudal es transmitida mediante bandas a la bomba de diafragma ver figura 43.

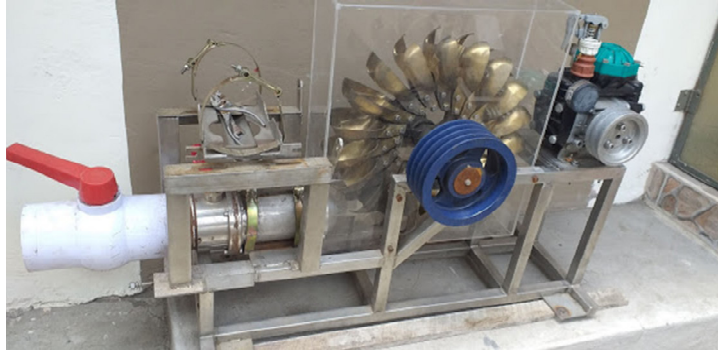


Figura 43: Turbina Pelton

Fuente: [1]

1.2.3.3. Componentes del sistema de control

➤ Calibración del caudalímetro ultrasónico

Para la calibración del sensor se debe de seguir los siguientes pasos

- Revisar el equipo, ajustes de pernos, verificar conexiones y cables, estado del par de sensores.
- Usando el manual de usuario se procede a calibrar los datos de la tubería.

Datos para tubería PVC

Diámetro externo:	110 mm
Diámetro Interno:	105,6 mm
Espesor:	2,2 mm
Perímetro:	345,5 mm
Material:	PVC

- Instalar el equipo para pruebas preliminares, figura 44.



Figura 44: Prueba de señal aguas abajo

Fuente: Autor

- d. Adaptar los sensores, se ubicar el primer sensor aguas arriba (figura 45) y para el segundo se debe de ubicar aguas abajo a una distancia entre 20 a 150 mm de distancia entre sí ver figura 46, desplazándola sobre la tubería hasta poder obtener los valores de lectura reales y posteriormente adaptarla usando una película de aceite entre el sensor y la tubería.



Figura 45: Ubicar el primer sensor aguas arriba

Fuente: Autor



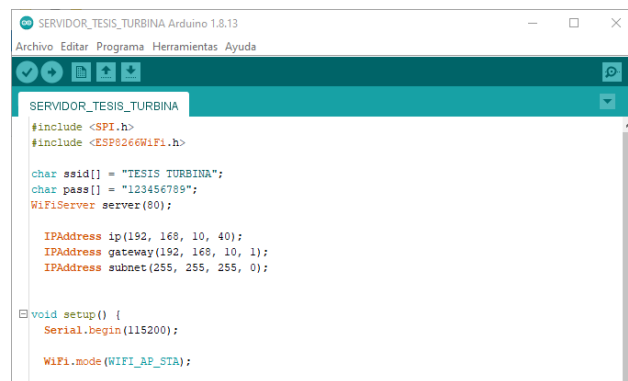
Figura 46: Desplazar el sensor a lo largo de la tubería hasta que el sensor marque las mediciones de caudal

Fuente: Autor

- e. Convertir las señales del caudalímetro de analógicas a digitales usando el convertidor RS485 para ingresar los datos al Arduino.

➤ Módulo ESP8266 Wifi

El microcontrolador ESP8266 es un dispositivo electrónico Wifi que permite enviar datos entre dos puntos figura 48, en nuestro caso desde el punto de recolección de datos de caudal al centro de control. Se usa dos módulos uno que actúa como “SERVIDOR” quien crea una señal Wifi ver figura 47 ubicado en el punto de control, y el otro modulo ubicado en el punto de recolección de datos del caudalímetro llamado “CLIENTE”, este se conecta a la red Wifi creada por el servidor, por medio de esta conexión se envía los datos seriales en tiempo real.



```
SERVIDOR_TESIS_TURBINA Arduino 1.8.13
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SERVIDOR_TESIS_TURBINA
#include <SPI.h>
#include <ESP8266WiFi.h>

char ssid[] = "TESIS TURBINA";
char pass[] = "123456789";
WiFiServer server(80);

IPAddress ip(192, 168, 10, 40);
IPAddress gateway(192, 168, 10, 1);
IPAddress subnet(255, 255, 255, 0);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  WiFi.mode(WIFI_AP_STA);
```

Figura 47: Programa generador del punto de acceso Wifi

Fuente: Autor

El módulo cliente procesa los datos adquiridos del caudalímetro ultrasónico y lo envía al receptor que se encuentra en el punto de control, el dispositivo posee un regulador de voltaje que permite alimentarse del puerto USB, o cargador de 3.3-5 V, los pines de entrada y salida funciona a 3.3 V, en el anexo F se encuentra las tablas de características técnicas del dispositivo [23].



Figura 48: Módulo ESP8266 servidor y cliente para prueba de señal

Fuente: Autor

➤ Puente H

Puente H o técnicamente conocido como módulo L298N (figura 49), comúnmente usado para controlar motores a pasos, de corriente continua, etc. El módulo en su totalidad contiene los componentes necesarios para funcionar sin necesidad de implementar componentes adicionales, puede controlar dos actuadores ya que contiene una salida A conformada por (OUT1, OUT2) y una salida B conformada por (OUT3, OUT4) también contiene diodos de protección.

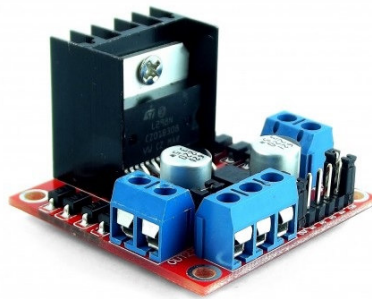


Figura 49: Módulo L298N

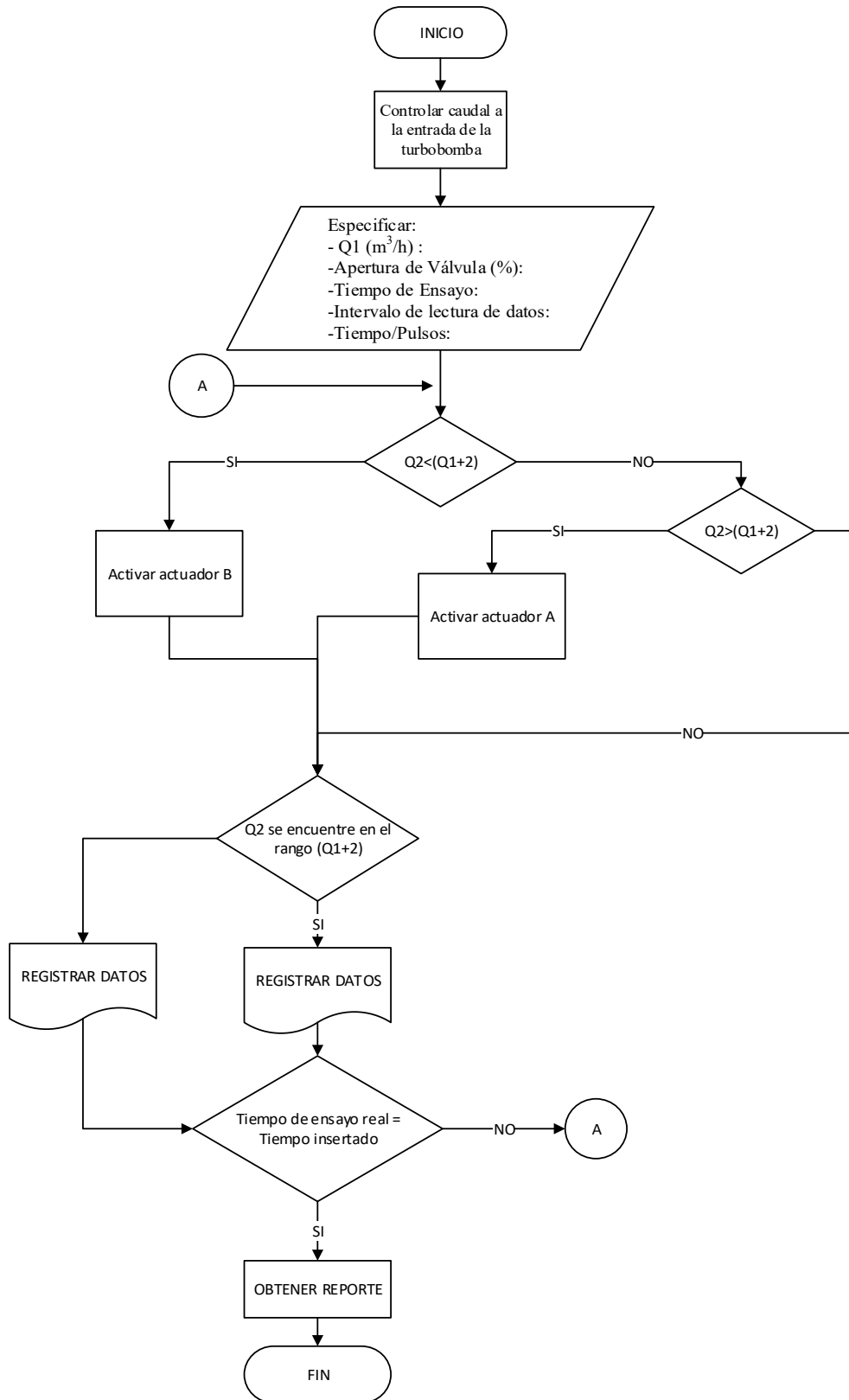
Fuente: Autor

Características

- Capacidad para controlar dos actuadores desde 3 a 30 VDC.
- Corriente de activación de 3 a 5 V
- Con capacidad hasta de 2 A
- Permite controlar velocidad y cambio de giro en el actuador

1.3. Diagrama de flujo del funcionamiento general

El diagrama de flujo general se estructura en base al funcionamiento del sistema considerando las posibles acciones que se puede tomar dentro de la ejecución del programa, este diagrama nos ayuda a enfocar la investigación a actividades específicas en diferentes procesos, representación gráfica del sistema, determinar el costo de calidad etc.



Fuente: Autor

Nota:

1. Q1: Caudal teórico insertado
2. Q2: Caudal real
3. Actuador A: Activar relé de cierre de válvula motorizada
4. Actuador B: Activar relé de apertura de válvula motorizada

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1. Equipos y materiales

Los materiales y equipos fundamentales usados para la construcción del proyecto se enumeran en los siguientes ítems respectivamente.




2.2. Adaptación del proyecto

En la tabla 5 se detallan todos los materiales y equipos necesarios para instalar el proyecto en la cascada.

Tabla 5: Materiales y equipos
Fuente: Autor

ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1 ud	Reductor tubo PVC 5" a 4"		\$5.00	\$5.00
2	22 mt.	Manguera de polietileno de 4"		\$10.00	\$220.00
3	4 ud	Abrazaderas 4"		\$2.50	\$10.00
4	4 ud	Tubo PVC 2" y 4" 3 mt.		\$4.50	\$18.00
5	1 ud	Pegamento sunshine B7000		\$4.00	\$4.00
6	1 ud	Válvula de globo		\$25.00	\$25.00

ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
7	1 ud	Válvula motorizada 2" Acero AISI 304		\$250.00	\$250.00
8	1 ud	Reductor tubo PVC 4 "a 2"		\$12.00	\$12.00
9	2 mt.	Manguera 2"		\$13.00	\$26.00
10	1 ud	Pallets		\$7.00	\$7.00
11	4 ud	Unión macho de 4"		\$5.80	\$23.20
12	4 ud	Unión hembra de 4"		\$5.80	\$23.20
13	2 ud	Adaptador macho de 2"		\$3.25	\$6.50
14	1 ud	Adaptador general 2 in		\$11.50	\$11.50
15	1 ud	Neplo de 2 in		\$3.80	\$3.80

ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
16	1 ud	Adaptador 4"		\$25.00	\$25.00
17	1 ud	Caudalímetro		FICM	FICM
18	1	Turbobomba con su respectiva turbina Pelton		FICM	FICM
TOTAL					\$670.20



2.2.1. Equipos electrónicos.

En la tabla 6 se detallan todos los dispositivos electrónicos usados para la construcción del sistema de control.

Tabla 6: Equipos electrónicos

Fuente: Autor










ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1 ud	Tarjeta de adquisición de datos		\$15.00	\$15.00
2	1 ud	Tarjeta relays		\$9.00	\$9.00
3	3	Cables Dupont		\$2.50	\$7.50
4	2 ud	Protoboard		\$1.25	\$2.50

ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
5	2 ud	Batería 12 V		\$24.00	\$48.00
6	1 ud	Módulo Esp32 Wifi Bluetooth Arduino Electronics		\$12.50	\$12.50
7	2 ud	Lagartos		\$1.25	\$2.50
8	3 ud	Broche para pila		\$0.75	\$2.25
9	1 ud	Fuente de voltaje variable		\$16.00	\$16.00
10	1 ud	Cable de datos		\$1.25	\$1.25
11	1 ud	Generador 110 V		\$150.00	\$150.00
12	1 ud	Puente H		\$6.50	\$6.50
13	4 ud	Batería 9 V		\$3.00	\$12.00
TOTAL					\$285.00

2.2.2. Equipos adicionales.

En la tabla 7 se presentan materiales adicionales de usos varios en la construcción del proyecto.

Tabla 7: Equipos complementarios
Fuente: Autor

ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	1 ud	Juego de mini destornilladores magnéticos		\$7.00	\$7.00
2	1 ud	Multímetro		\$14.00	\$14.00
3	2 ud	Cinta de ducto		\$3.80	\$7.60
4	3 ud	Taípe		\$0.50	\$1.50
5	1 ud	Extensión 20 metros		\$10.00	\$10.00
6	1 ud	Cautín		\$2.50	\$2.50
7	2 mt.	Estaño 5 mm		\$1.25	\$2.50
8	20 ud	Correas plásticas		\$0.10	\$2.00
9	1 ud	Flexómetro		\$2.50	\$2.50

ITEM	CANT.	NOMBRE	GRÁFICO	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
10	1 ud	Botas de caucho		\$8.50	\$8.50
11	1 ud	Calibrador		\$7.50	\$7.50
12	1 ud	Llave de cadena		\$14.00	\$14.00
13	50 mt.	Cuerda		\$0.65	\$32.50
14	1 ud	Pistola (silicona)		\$3.00	\$3.00
TOTAL					\$115.10

Adicional a los equipos y materiales que se usaron en la instalación, fue necesarios 3 días de trabajo para los ensayos más las inspecciones que se realizaron, para los cuales se requirió de un medio de transporte para trasladar a los ayudantes y los materiales, en la tabla 8 se describe gastos ejecutados.

Tabla 8: Equipos complementarios

Fuente: Autor

ITEM	CANT.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	P. UNITARIO	VALOR TOTAL
1	3	Transporte	Transporte de los materiales y personal	\$40.00	\$120.00
2	3	Comida	Almuerzo, merienda	\$3.00	\$72.00
3	4	Personal	Pago diario	\$15.00	\$180.00
4	Gastos adicionales			\$60.00	\$60.00
TOTAL					\$432.00

2.3. Métodos

2.3.1. Documental

Este método de recolección de información fue dirigido a diferentes fuentes confiables como: Libros web, investigaciones y/o artículos científicos, revistas, trabajos previos de titulación etc., con la finalidad de realizar una retroalimentación al proyecto y de las mismas maneras dar continuidad. La información obtenida tiene un enfoque al diseño mecánico funcionamiento de la turbobomba y demás componentes, sensores de caudal, revoluciones y en específico a controlar el caudal usando diferentes microprocesadores que controlarán el actuador.

2.3.2. Experimental

El método experimental analiza el resultado de una acción de manipulación de una o más variables experimentales no comprobadas las mismas sean dependientes o independientes, en condiciones controladas en la investigación con el objetivo de estudiar el resultado final siguiendo un esquema de trabajo, un diagrama de flujo ver 1.3 [36]. En consecuencia, este método se usó para determinar el rango promedio del caudalímetro en el cual el sistema trabajará especificado en 1.2.3, así como también se usó para determinar la distancia más apropiada al cual se instalará el actuador, considerando el ruido y la humedad al cual podría encontrarse expuesto dichos dispositivos.

2.3.3. Cualitativo

El desarrollo del método cualitativo es aplicado al proyecto para el desarrollo del diseño del sistema de control en general en las condiciones las cuales el proyecto satisfaga las necesidades finales, como obtener una velocidad final de salida de agua en la bomba en base al caudal de entrada para finalmente realizar una comparación con datos previos en 3.1.

2.3.4. Campo

En método de recolección de información de campo en el proyecto fue de vital importancia ya que, en base a la observación se pudo determinar la factibilidad de poder llegar con los equipos ver anexo D, la peligrosidad de trabajar en el lugar, la toma de datos de señal Wifi y un posterior análisis final de pros y contras se eligió la cascada que más ser acerca a los objetivos.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y discusión de los resultados

La instalación de los equipos necesarios para los ensayos se realizó en la cascada Cal y Piedra del cantón Mocha de 12 metros de altura, los datos se tomaron durante (5, 10 ,15) minutos de funcionamiento del sistema y a intervalos de registro de datos cada (15 y 20) segundos.

Para establecer valores referenciales de programación se tomó como datos iniciales los resultados del estudio previo de construcción de la turbina Pelton, estos datos se reflejan en la tabla 9 obtenidos de [1]. Adicional, se realizó una prueba de señal en la cascada usando los módulos Wifi para determinar si dada la irregularidad del terreno afecte la intensidad de señal.

3.2. Operación del inyector

La operación del inyector es uno de los factores principales del cual dependerá el mejor aprovechamiento de la energía obtenida en la diferencia de altura [1]. El inyector fue diseñado con un tornillo de potencia conectado a un sistema de engranes cónicos espirales que ayudan la transformación de movimiento rotatorio en lineal. En [1], para calcular la apertura del inyector (X) como se muestra en la figura 50, se puede usar la ecuación (7).

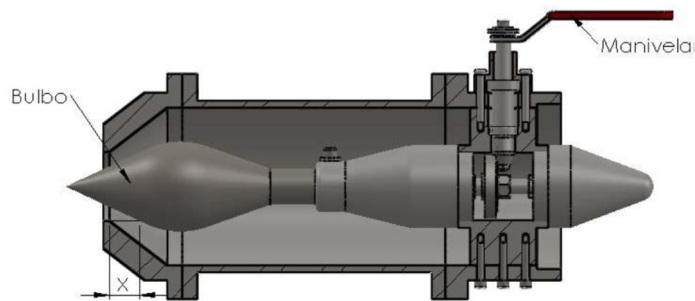


Figura 50: Instructivo de movimiento apertura y cierre del inyector

Fuente: [1]

Ecuación;

$$X = 27 - \frac{27}{32}n \quad \text{(Ec. 8)}$$

Donde:

X= Apertura del inyector (mm).

n= Número de vueltas de la manivela.

Tabla 9: Registro de datos

Fuente: [1]

Caudal Q (m³/seg)	Giros de la manivela del inyector (Vueltas n)	Apertura del inyector X (mm)	Velocidad de giro de la turbina (rpm)
0.008142	0	27	0
	5	22.78	56
	10	18.56	65
	15	14.34	64
	20	10.13	58
	25	5.91	25
0.01425	0	27	395
	5	22.78	416
	10	18.56	440
	15	14.34	445
	20	10.13	432
	25	5.91	385
0.0245	0	27	410
	5	22.78	417
	10	18.56	453
	15	14.34	462
	20	10.13	420
	25	5.91	388
0.0285	0	27	415
	5	22.78	420
	10	18.56	460
	15	14.34	470
	20	10.13	415
	25	5.91	390

En la tabla 9 se muestran los datos almacenados del registró en [1], a partir de los datos de caudal referenciales y con el desplazamiento más eficiente del inyector (X), se toman como base en la programación del sistema de control de los actuadores mecánicos, llegando a la conclusión que las revoluciones óptimas para que la bomba conectada a la turbina alcance su mayor eficiencia

garantizado su vida útil es de 460 rpm, con desplazamiento del inyector $x=18,56$ mm.

3.3. Descripción del programa y sus funciones

El programa se diseñó en un software de programación visual gráfico LabVIEW, en el anexo G se puede observar el panel frontal del programa. En la figura 51 y figura 52, se muestra enumeradas las partes del programa y en cada punto se encuentra una descripción de funcionamiento.

El programa se encarga de recibir los datos de los sensores y a partir de ellos ejecutar una acción, el dato de caudal real Q2 es recibida vía Wifi al punto de control, este valor se compara con el caudal base que requiere nivelar Q1, de modo que si no se encuentra en el rango establecido que es $Q1+2$ la válvula debe abrir o cerrar, Si el caudal Q1 se encuentra dentro del rango $Q1+2$ el programa registra los datos y no ejecuta acción en la válvula motorizada.

Se usó un puente H el cual envía señal a la válvula motorizada por pulsos, después de medir nuevamente el programa realiza la misma acción hasta conseguir establecer el caudal y esos datos se van almacenando en el registro de datos que finalmente son exportados en archivo (.xls).

Descripción de partes.

1. Seleccionar el puerto de conexión con el microprocesador.
2. Muestra visualización de hora y fecha.
3. Insertar un nombre de ensayo, para el documento de extensión .xls.
4. Button “INICIAR” iniciar: inicia el funcionamiento del programa.
5. Button “REPORTE”: extrae la base de datos registrada.
6. Button “APAGAR”: apaga el programa.
7. Insertar tiempo de ensayo en minutos.
8. Insertar el intervalo en que se extraerá los datos, programa preguntará, ejecutará y almacenará datos de acuerdo a este intervalo de tiempo.

9. Controlador de pulso de la válvula motorizada (tiempo establecido 1 segundo).

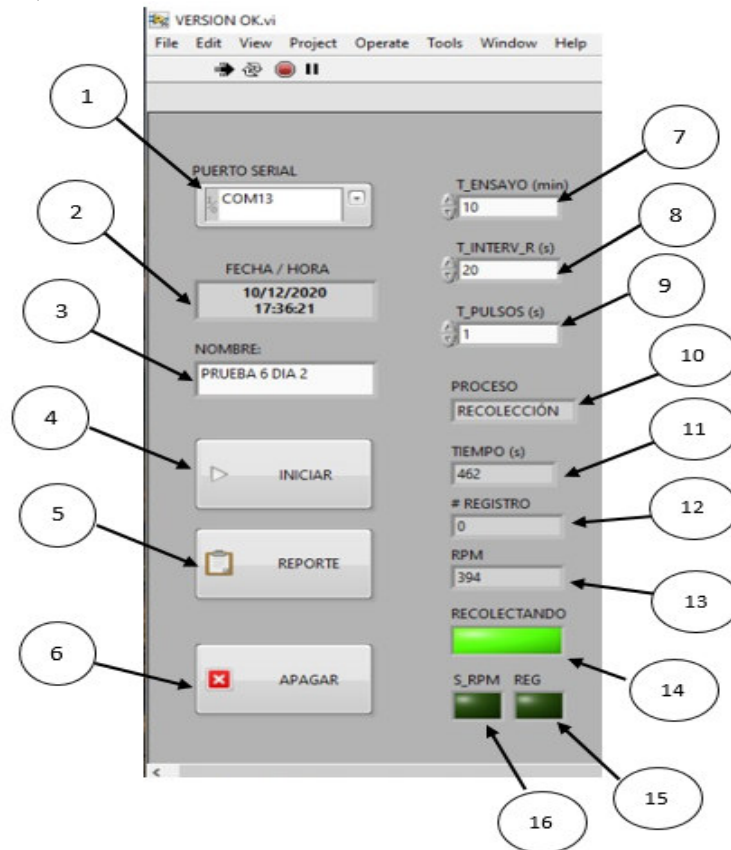


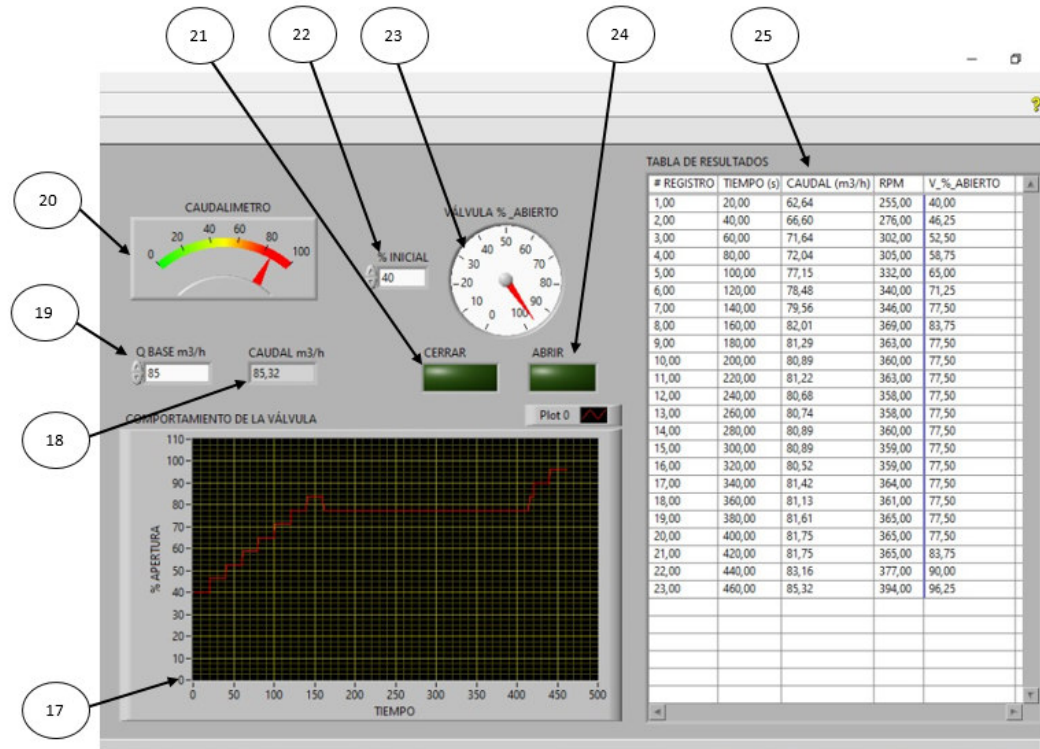
Figura 51: Panel frontal del programa izquierdo, y sus partes

Fuente: Autor

- 10. Muestra información de estado de programa.
- 11. Muestra tiempo de ejecución de programa (segundos).
- 12. Muestra cantidad de datos almacenados.
- 13. Muestra rpm únicamente cada intervalo insertado.
- 14. Indicador que el programa se encuentra en ejecución.
- 15. Indicador de un registro de datos.
- 16. Indicador de sensor hall.
- 17. Muestra gráfica de comportamiento de la válvula.
- 18. Muestra el caudal captado en el intervalo seleccionado (Q2) caudal real.

Figura 52: Panel frontal del programa derecho, y sus partes

Fuente: Autor



- 19. Indicador numérico en el que se inserta el caudal base (Q1).
- 20. Indica la cantidad de caudal registrada
- 21. Modo “ON” apertura se válvula
- 22. Indicar el porcentaje de apertura de válvula
- 23. Indicador del porcentaje de apertura de válvula.
- 24. Modo “ON” cierre de válvula
- 25. Registro de datos muestra y almacenada los datos de: registro, tiempo, caudal, rpm, porcentaje de apertura de válvula.






3.4. Ejecución y puesta en marcha del sistema


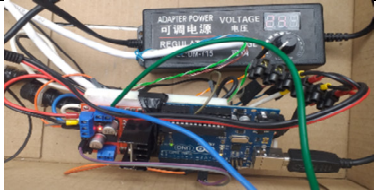

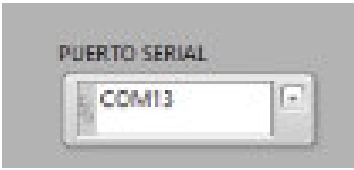
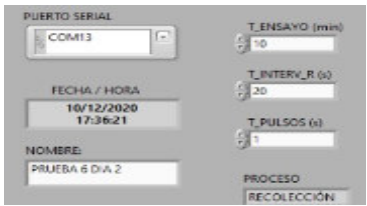
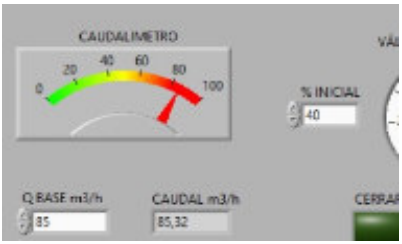
3.4.1.1. Procedimiento de instalación y manejo del programa

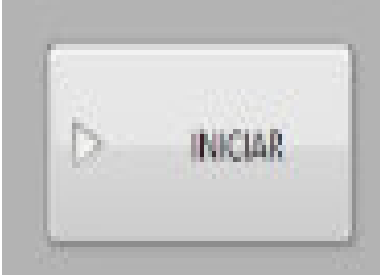
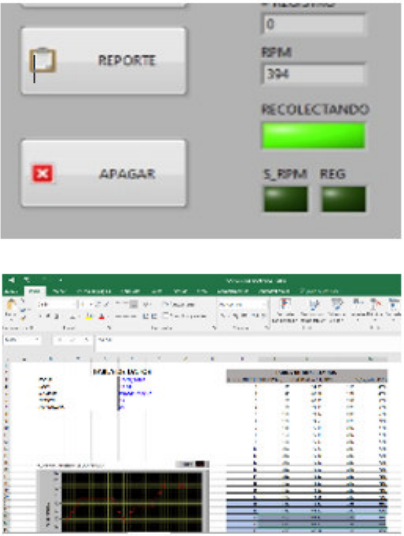
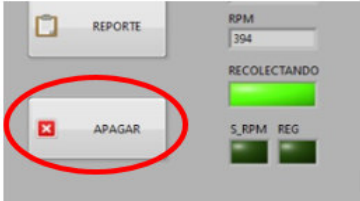
En la tabla 10 se indicará la metodología de instalación de los dispositivos en el lugar de estudio, como usar el programa para la toma y registro de datos:

Tabla 10: Descripción instalación y manejo del programa.

Fuente: Autor

DESCRIPCIÓN	GRÁFICA
<p>1. Instalar la tubería través de la cascada, usando cuerdas levantar la tubería, en la parte inicial de la tubería colocar una válvula cerrada o taponar la tubería para que esta no se llene de agua y el peso no aumente</p>	
<p>2. El arenero ubicar en un lugar donde el agua se concentre, de esa manera el caudal recolectado sea lo suficiente para el funcionamiento</p>	
<p>3. Instalar la válvula motorizada, la válvula se instálalo en el ducto principal de paso del caudal, permitirá controlar el paso del caudal.</p>	
<p>4. Instalar la turbobomba en un lugar nivelado y conectar los acoples con la tubería forzada</p>	
<p>5. Instalar el sensor de rpm: En la polea se instaló un imán de neodimio, mismo que se debe de encontrarse cercano del sensor hall para que este detecte las vueltas que da la polea.</p>	

DESCRIPCIÓN	GRÁFICA
7. Instalar el equipo de envío de señal Wifi, el equipo de recepción de datos de caudalímetro y envío de señal se ubicó cercano de la instalación de los sensores ultrasónicos.	
8. Instalar el equipo de control: el equipo de control se debe de ubicarse apartado del caudal de agua, en una locación cercana o directa con el punto de recepción de datos Wifi.	
9. Realizar la conexión entre la computadora y el dispositivo de control: Esta conexión permitirá estar en contacto a través del software y monitorear los sensores de entrada y actuador.	
10. Una vez que se conecte a una computadora se debe de seleccionar el puerto "COM" de entrada en el programa, verificar los sensores de entrada de señal.	
11. Una vez verificado que los sensores estén en funcionamiento, insertar los parámetros de entrada, nombre de la prueba, tiempo de ensayo (min), tiempo de recolección de datos (s) y los pulsos (s)	
12. Insertar el caudal que se desea (caudal base m ³ /h), y el porcentaje de apertura inicial de la válvula, estas variables son necesarias para que se dé un correcto funcionamiento, el caudal base Q1 es el valor al cual el sistema requiere nivelarse controlando la válvula.	

DESCRIPCIÓN	GRÁFICA
<p>13. Iniciar prueba, al empezar la prueba el programa dependiendo de los valores de intervalo de tiempo insertados, empezará a preguntar el caudal, revoluciones luego comparará con los valores bases y ejecutará una acción, posteriormente se almacenarán los datos.</p>	
<p>14. Generar reporte de trabajo: después de finalizar el ensayo, pulsar el botón "REPORTE", se extraerá los datos de funcionamiento del sistema como es el caudal, las revoluciones, % de apertura de válvula, grafica del comportamiento de la válvula motorizada, también se extraerá datos de las variables ingresadas como es el caudal base (Q1), nombre de prueba, fecha, tiempo del ensayo, intervalo de tiempo de datos, las pulsaciones de la válvula motorizada, estos archivos se puede extraer en archivo Excel.</p>	
<p>15. Finalizar. Para que el ensayo finalice y borre los datos almacenados anteriormente presionar el botón "APAGAR", los datos del último registro se borrarán y estará lista para proceder con la nueva prueba.</p>	

3.4.2. Resultados obtenidos

Se realizó tres ensayos considerando diferentes variables como, la apertura de válvula, caudal base, tiempo de ensayo, la turbina sin carga ver anexo P y con carga anexo Q. Para lo cual se obtuvo valores referenciales con la apertura de válvula de 25%, 50%, 75% y 100% extrayendo valores de caudal y rpm.

Tabla 11: Valores referenciales obtenidos para de la turbina sin carga (Caso 1)

Fuente: Autor

% apertura de válvula	Caudal (m³/h)	Revoluciones (rpm)
25%	25.531	55
50%	61.547	246
75%	77.803	336
100%	93.668	463

Los valores inscritos en la tabla 11 y tabla 12 se obtuvieron previo a cada prueba, en el cual se alcanzó caudal máximo con el 100% de apertura de 93,66 m³/h valor promedio de caudal para caso 1 y 463 rpm y para el caso 2 se obtuvo un caudal de 95,64 m³/h y 424 rpm.

Tabla 12: Valores referenciales obtenidos para de la turbina conectada a la bomba (Caso2)

Fuente: Autor

% apertura de válvula	Caudal (m³/h)	Revoluciones (rpm)
25%	27.423	31
50%	62.374	218
75%	76.901	329
100%	95.640	424

3.4.2.1. Turbina sin carga

Prueba A.

Las condiciones para la toma de datos N° 1 fueron las siguientes: caudal base (Q1) fue de 80 m³/h y una vez encuentre estabilidad se cambió por 85 m³/h, la apertura inicial de la válvula para el paso de caudal fue del 40%. En la tabla 13 se puede observar los datos generales del primer ensayo que arroja el programa al concluir el tiempo de prueba.

Tabla 13: Datos generales de ensayo N° 1

Fuente: Autor

TABLA DE DATOS	
FECHA:	<i>10/12/2020</i>
HORA:	<i>17:39</i>
NOMBRE:	<i>PRUEBA 6 DIA 2</i>
TIEMPO:	<i>10</i>
FRECUENCIA:	<i>20</i>

La toma de datos fue cada 20 segundos durante 10 minutos, con un resultado de 30 datos mismos que se puede observar en la tabla 14, los cuales se encuentran representados gráficamente en el anexo J, anexo K y gráfico 1

Tabla 14: Tabla de datos obtenidos del ensayo N° 1

Fuente: Autor

TABLA DE RESULTADOS				
# DE REGISTRO	TIEMPO (s)	CAUDAL (m ³ /h)	RPM	V_%_ABIERTO
1	20	62.64	255	40.0%
2	40	66.60	276	46.3%
3	60	71.64	302	52.5%
4	80	72.04	305	58.8%
5	100	77.15	332	65.0%
6	120	78.48	340	71.3%
7	140	79.56	346	77.5%

8	160	82.01	369	83.8%
9	180	81.29	363	77.5%
10	200	80.89	360	77.5%
11	220	81.22	363	77.5%
12	240	80.68	358	77.5%
13	260	80.74	358	77.5%
14	280	80.89	360	77.5%
15	300	80.89	359	77.5%
16	320	80.52	359	77.5%
17	340	81.42	364	77.5%
18	360	81.13	361	77.5%
19	380	81.61	365	77.5%
20	400	81.75	365	77.5%
21	420	81.75	365	83.8%
22	440	83.16	377	90.0%
23	460	85.32	394	96.3%
24	480	87.12	408	90.0%
25	500	85.64	396	84.8%
26	520	85.93	399	84.8%
27	540	86.40	404	84.8%
28	560	86.25	402	84.6%
29	580	86.21	402	84.8%
30	600	86.31	408	84.8%

Gráficas correspondientes al ensayo N°1

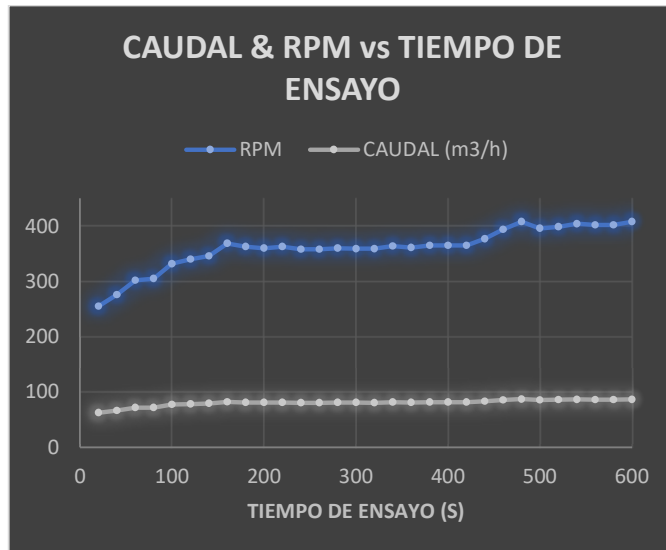


Gráfico 1: Comportamiento del caudal y las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 1

Fuente: Autor

Conclusión

En el gráfico 1 se muestra el comportamiento del caudal y de las revoluciones graficadas en función del tiempo del registro de datos, desde la apertura de 40% de la válvula el caudal inicial real Q_2 es de $62,64 \text{ m}^3/\text{h}$ y el caudal al que se debe de igualar es $Q_1 = (80+2) \text{ m}^3/\text{h}$ que es el caudal base insertado, el tiempo de registro de datos es de 20 (s), cada 20 (s) la válvula ejecutara una acción de 1 (s) en dependencia de los valores de registro. Si se requiere más caudal para igualar a la condición Q_1 la válvula se abre y el caudal aumenta en cada registro de dato, en el anexo J se encuentra la gráfica donde se visualiza que el caudal aumenta conforme se registra un nuevo valor de caudal. Cuando el caudal real se encuentra dentro del rango establecido $Q_1 = (80+2) \text{ m}^3/\text{h}$, no se ejecuta ninguna acción. Sin embargo, el registro de los datos se realiza en cada intervalo de tiempo asignado.

El caudal base se puede variar mientras el sistema está en funcionamiento, el nuevo caudal base insertado es de $Q_1 = 85 \text{ m}^3/\text{h}$, en el siguiente registro de dato y comparación de valores el programa automáticamente envía pulsos a la válvula para abrir, de este modo se logra igualar el caudal real dentro del rango.

Para nivelar al primer caudal base $Q_2=85 \text{ m}^3/\text{h}$, tarda 180 (s), donde se consigue un caudal de $81,29 \text{ m}^3/\text{h}$, 363 rpm y con apertura de válvula de un 77.5% y para el nuevo caudal base $Q_2=85 \text{ m}^3/\text{h}$ se estabiliza en 100 (s), con caudal $85.64 \text{ m}^3/\text{h}$, 396 rpm y 84.8% de apertura de válvula.

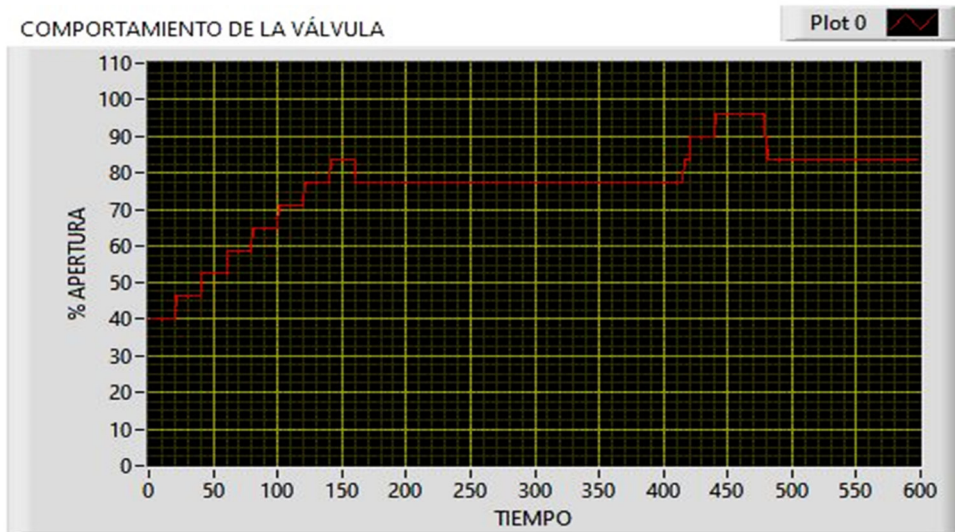


Gráfico 2: Diagrama del comportamiento de la válvula motorizada en función del tiempo ensayo N° 1

Fuente: Autor

El gráfico 2 representa el comportamiento del porcentaje de apertura de la válvula, indica el tiempo en el que permanece activa y en el que permanece estable, al lograr nivelar el caudal real (Q_2) dentro del rango del caudal base (Q_1+2) el comportamiento de la válvula es estable, mientras que en las mediciones de caudal existe pequeñas variaciones las mismas se encuentran dentro del rango (Q_1+2) la válvula no se activa.

Prueba B.

Las condiciones para la toma de datos N° 2 con la turbina sin carga fueron las siguientes, caudal base (Q_1) fue de $75 \text{ m}^3/\text{h}$, pero con apertura inicial de la válvula para el paso de caudal fue del 30%. En la tabla 15 se puede observar los datos generales del segundo ensayo.

Tabla 15: Datos generales de ensayo N° 2

Fuente: Autor

TABLA DE DATOS	
FECHA:	9/12/2020
HORA:	15:49
NOMBRE:	PRUEBA 2
TIEMPO:	5
FRECUENCIA:	15

La toma de datos fue cada 15 segundos durante 15 minutos, con un resultado de 20 datos mismos que se puede observar en la tabla 16, los cuales se encuentran representados gráficamente en el anexo L, anexo M, y gráfico 3.

Tabla 16: Tabla de datos obtenidos del ensayo N° 2

Fuente: Autor

TABLA DE RESULTADOS				
# DE REGISTRO	TIEMPO (s)	CAUDAL (m³/h)	RPM	V_%_APERTURA
1	15	43.20	95	30.0%
2	30	48.20	150	37.1%
3	45	56.16	220	44.3%
4	60	60.48	243	51.4%
5	75	70.15	296	58.6%
6	90	73.32	311	61.6%
7	105	77.26	334	65.7%
8	120	75.19	325	52.4%
9	135	75.45	324	52.4%
10	150	75.49	326	52.4%
11	165	75.16	324	52.4%
12	180	75.60	323	52.4%
13	195	75.66	323	52.4%

14	210	75.67	326	52.4%
15	225	75.65	328	52.4%
16	240	75.67	328	52.4%
17	255	75.63	327	52.4%
18	270	75.63	330	52.4%
19	285	75.66	329	52.4%
20	300	75.71	328	52.4%

Gráficas correspondientes al ensayo N°2

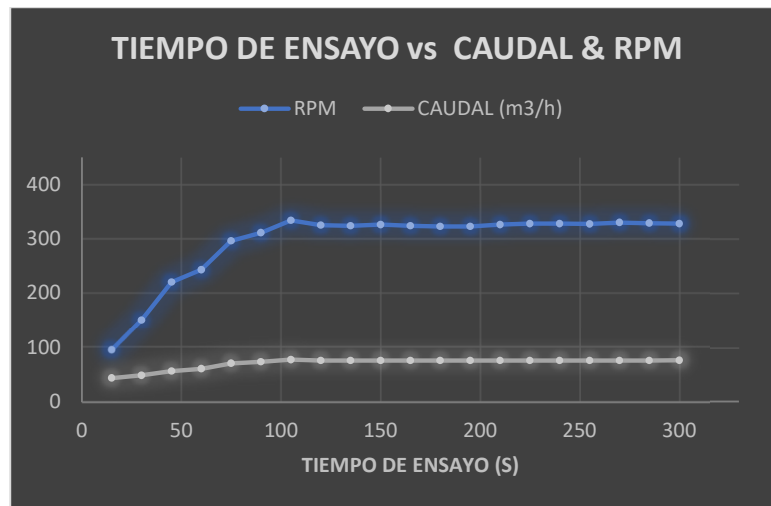


Gráfico 3: Comportamiento del caudal y las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 2

Fuente: Autor

Conclusión

Con la apertura de la válvula del 30% se realiza el ensayo, como resultado se obtuvo un caudal de 43.20 m³/h, 95 rpm a los 15 (s), en esta prueba se usa un caudal base Q1=75 m³/h, a partir del inicio del ensayo en cada apertura de la válvula motorizada la curva de caudal y revoluciones sube como se observa en el gráfico 3. La válvula motorizada se estabiliza a los 120 (s) a un caudal de 75.19 m³/h, 325 rpm, el sistema logra equilibrio. El anexo M muestra cómo se comporta la curva de las revoluciones en función del tiempo de ensayo, desde

las 95 rpm iniciales se incrementa a un valor máximo de 334 revoluciones, en el tiempo que la válvula se estabiliza la revoluciones se mantiene en un rango de 323 a 330 rpm dentro del rango de caudal base, por el cual la válvula no se activa.

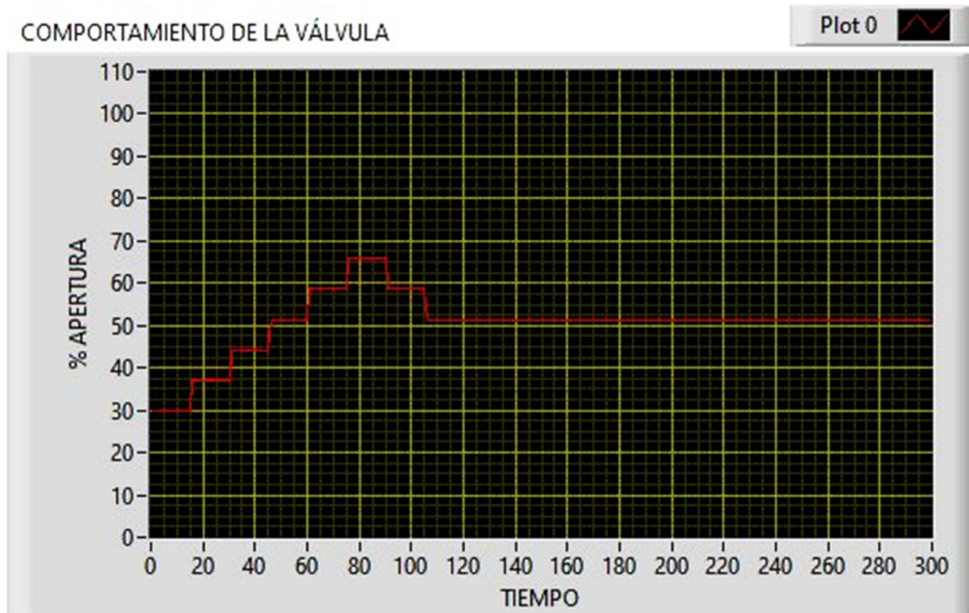


Gráfico 4: Diagrama del comportamiento de la válvula motorizada en función del tiempo ensayo N° 2

Fuente: Autor

Conclusión

El gráfico 4 representa el comportamiento del porcentaje de apertura de la válvula en función de tiempo del ensayo, la apertura inicial de la válvula es de 30%, después de los 120 (s) en el que la válvula motorizada se estabiliza a un porcentaje de apertura de la válvula de 52,4% y se mantiene constante durante todo el ensayo. Sin embargo, el valor máximo de apertura de válvula en el ensayo es de 65,7%, se obtuvo esa apertura de válvula cuando el valor caudal real supero el caudal base, en el siguiente registro de datos la válvula se cierra hasta estabilizar el valor del caudal dentro del rango establecido.

3.4.2.2. Turbina con carga

Prueba A.

Las condiciones para la toma de datos N° 2 fueron las siguientes, caudal base (Q1) fue de 75 m³/h y una vez encuentre estabilidad se cambió por 62 m³/h y 85 m³/h, la apertura inicial de la válvula para el paso de caudal fue del 40%. En la tabla 17 se puede observar los datos generales del ensayo que arroja el programa al concluir el tiempo de prueba.

Tabla 17: Tabla de datos para ensayo N° 3

Fuente: Autor

TABLA DE DATOS	
FECHA:	<i>10/12/2020</i>
HORA:	<i>18:04</i>
NOMBRE:	<i>PRUEBA 7 DIA 2</i>
TIEMPO:	<i>15</i>
FRECUENCIA:	<i>20</i>

La toma de datos fue cada 20 segundos durante 15 minutos, con un resultado de 45 datos mismos que se puede observar en la tabla 18.

Tabla 18: Tabla de datos obtenidos del ensayo N° 3

Fuente: Autor

TABLA DE RESULTADOS				
# DE REGISTRO	TIEMPO (s)	CAUDAL (m ³ /h)	RPM	V_%_ABIERTO
1	20	43.56	118	40%
2	40	65.52	187	46%
3	60	68.36	251	53%
4	80	71.99	270	59%
5	100	73.92	286	65%
6	120	74.58	276	71%
7	140	75.16	287	78%

8	160	75.16	287	78%
9	180	75.09	287	78%
10	200	75.20	288	78%
11	220	75.31	286	78%
12	240	75.27	288	78%
13	260	75.57	291	78%
14	280	75.20	289	78%
15	300	75.17	290	78%
16	320	75.21	289	78%
17	340	75.16	289	71%
18	360	71.60	268	65%
19	380	68.30	250	59%
20	400	66.60	241	53%
21	420	63.24	223	46%
22	440	60.48	211	53%
23	460	61.24	212	59%
24	480	62.56	220	65%
25	500	62.31	218	65%
26	520	62.31	218	65%
27	540	62.54	220	65%
28	560	62.81	223	65%
29	580	62.81	223	65%
30	600	62.81	247	71%
31	620	67.68	270	78%
32	640	72.03	282	84%
33	660	74.12	301	90%
34	680	77.76	314	96%
35	700	80.28	330	96%
36	720	80.28	345	96%
37	740	83.16	339	96%
38	760	85.48	344	96%
39	780	84.96	341	90%

40	800	85.32	341	96%
41	820	85.43	347	96%
42	840	85.85	347	96%
43	860	86.23	345	96%
44	880	86.23	343	96%
45	900	86.45	344	96%

Gráficas correspondientes al ensayo N°3

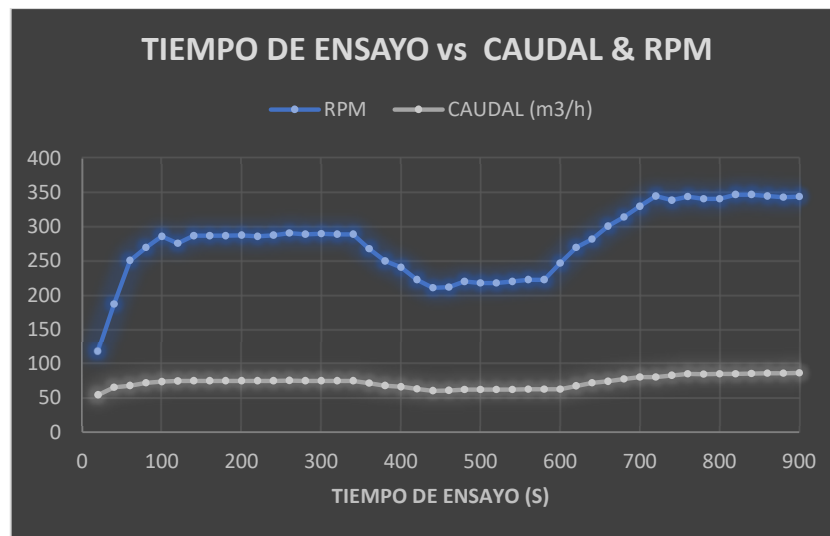


Gráfico 5: Comportamiento del caudal y las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 3

Fuente: Autor

Conclusión

El ensayo N°3 programado en el caso en que la turbina se encontraba conectado a la bomba y con una apertura de válvula del 40%, obteniendo un caudal de 43,56 m³/h y 118 rpm. Se ha tomado una medición con 3 alteraciones de caudal base 75, 62, 85 m³/h, para el primer caudal base Q1 = (75+2) m³/h, la válvula motorizada tarda 140 (s) en nivelar el caudal real con el caudal base tomando en cuenta que se realiza la toma de datos cada 20 (s), la válvula mantiene desactivada con un rango de caudal de 286 a 290 rpm.

En el cambio del caudal base a $62+2 \text{ m}^3/\text{h}$, una vez el programa registra el cambio de caudal la válvula se cierra en cada intervalo de tiempo en el gráfico 5 se puede observar como la curva desciende hasta nivelarse nuevamente, el proceso que tarda el sistema en nivelarse al nuevo caudal es de 120 (s) y con apertura de válvula de 65%. En el cambio al tercer caudal base $85+2 \text{ m}^3/\text{h}$ el sistema tarda 140 (s) en llegar al rango de caudal, se nivela con apertura de válvula del 96% y se mantiene constante con un rango de revoluciones de 341 a 347 rpm.

En el anexo O se muestra la curva del comportamiento de revoluciones del ensayo iniciando con 118 revoluciones en la apertura de válvula mínima y 347 rpm para la máxima apertura de válvula.

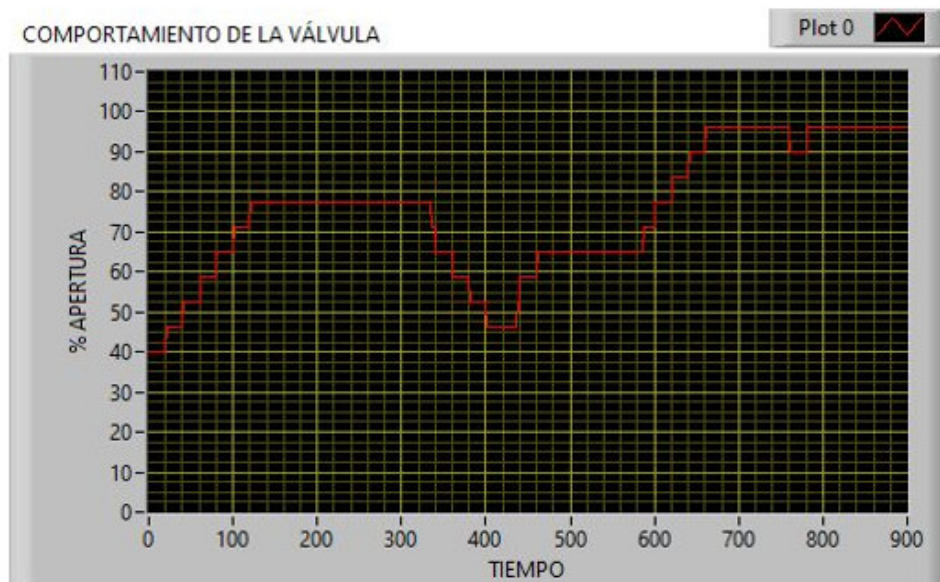


Gráfico 6: Diagrama del comportamiento de la válvula motorizada en función del tiempo ensayo N° 2

Fuente: Autor

El gráfico 6 representa el comportamiento del porcentaje de apertura de la válvula en función del tiempo de ensayo, la apertura inicial de la válvula es de 40%, después de los 140 (s) en el cual la válvula motorizada se estabiliza el porcentaje de apertura de la válvula es de 78% y se mantiene hasta el segundo ingreso de caudal, en el segundo caudal de nivela en 65% y para el tercer caudal base se nivel en 96%.

3.5. Discusión de resultados

Para realizar un análisis del comportamiento de caudal se tomó los 12 primeros datos de las tres pruebas independientemente de su tiempo de extracción de datos (15 o 20 segundos) mostrados en la tabla 19.

Tabla 19: Indica los 12 primeros datos de los 3 ensayos

Fuente: Autor

# DE REGISTRO	CAUDAL (m ³ /h)		
	Medición 1	Medición 2	Medición 3
1	62.64	43.20	54.56
2	66.60	48.20	65.52
3	71.64	56.16	68.36
4	72.04	60.48	71.99
5	77.15	70.15	73.92
6	78.48	73.32	74.58
7	79.56	77.26	75.16
8	82.01	75.19	75.16
9	81.29	75.45	75.09
10	80.89	75.49	75.20
11	81.22	75.16	75.31
12	80.68	75.60	75.27

Condiciones de medición

Medición 1: Apertura inicial de válvula 40%, Caudal base 80 m³/h.

Medición 2: Apertura inicial de válvula 30%, Caudal base 75 m³/h.

Medición 3: Apertura inicial de válvula 40%, Caudal base 75 m³/h.

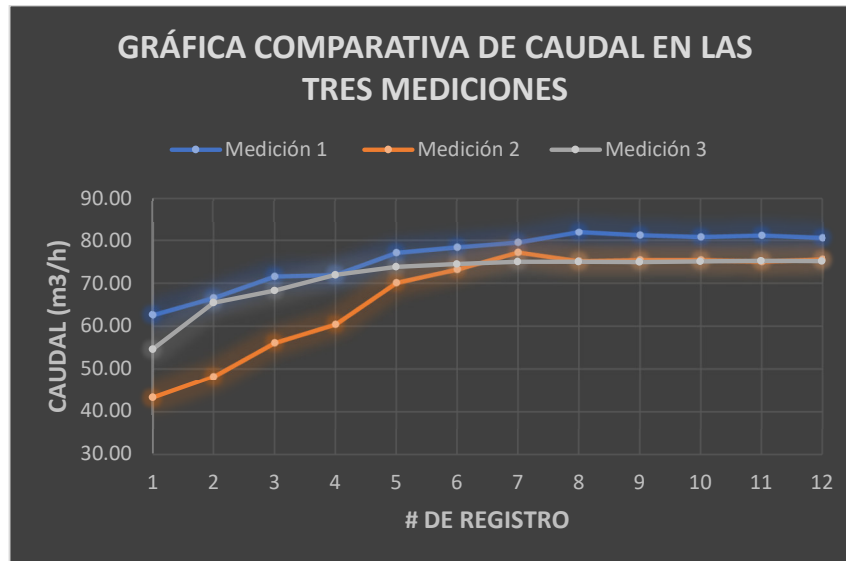


Gráfico 7: Comportamiento del caudal de los tres ensayos realizados

Fuente: Autor

El gráfico 7 muestra cómo se comporta el caudal en el tiempo en que la válvula tarda en nivelarse a un caudal base, donde la cantidad de caudal que se obtiene en el primer registro de datos en los tres casos depende de la apertura inicial de la válvula motorizada.

Las tres curvas se estabilizan entre el sexto y el octavo registro de datos, tardaría entre 130 y 170 (s) en estabilizar el caudal, para la medición número dos la cual tiene un 30 % de apertura de la válvula tiene más picos de desvió de caudal en comparación de las otras dos mediciones con apertura de válvula del 40%.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- El actuador mecánico que se seleccionó para controlar el caudal a la entrada de la turbobomba Pelton, que se encuentra disponible en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, fue una válvula motorizada DN25, de acero inoxidable muy resistente a la corrosión, tensión nominal de 24VDC, tiempo en abrir/cerrar de 13 (s) diseñada para líquidos que se encuentren dentro de la temperatura de 2°C a 90°C. Previo a la selección del lugar de instalación se realizó pruebas de señal, inspección de lugar, accesibilidad, etc., entre las cascadas “El Silencio” de la parroquia Ulba, “Jun Jun” del cantón Quero, “Cal y Piedra” del cantón Mocha y en base a los recursos de los cuales se dispone la más apta fue la cascada Cal y Piedra ubicada a 15 minutos del canto Mocha.

- Para la obtención de los parámetros de programación, se realizó pruebas de señal in situ, pruebas de sensores, funcionamiento de la válvula (tiempo de apertura y cierre), el tipo de datos que el caudalímetro arrojaba permitiendo establecer variables y rangos para la programación. El caudalímetro ultrasónico se instaló en una fracción de tubería PVC adaptado a la manguera corrugada, ya que la tubería brinda mejor adherencia de los sensores en comparación con la manguera, el sensor se ubicó 5 metros posterior del actuador mecánico como lo indica el manual, el sensor detecta el caudal que atraviesa la tubería, si el caudal registrado es bajo la válvula motorizada se abre y si hay un exceso de caudal la válvula cierra. Tomando en consideración que el envío de datos Wifi tiene retardo al valor real de medición entre 6 y 9 segundos, se consideró óptimo realizar la toma de datos cada 15 segundos en adelante, ya que a partir de esta medición se obtiene valores de datos reales

- Al finalizar las instalaciones de los equipos, el diseño del programa y pruebas previas de los dispositivos, se procede a realizar las pruebas de

funcionamiento establecidas la prueba de la turbina con carga, y la turbina sin carga, para lo cual se obtuvo los siguientes resultados en los dos casos de estudio planteado, en caso donde la turbina no tiene ninguna resistencia se obtuvo un caudal máximo de 93 a 95 m³/h, 463 rpm con apertura del 100% de la válvula. Para el segundo caso donde la turbina se encuentra ensamblada a la bomba donde existe resistencia, se obtuvo un caudal máximo de 95 a 96 m³/h y 424 rpm con apertura del 100% de la válvula motorizada. La estabilización entre el caudal real (Q2) y el caudal base (Q1) se logra entre el sexto y el octavo registro de datos, el tiempo en que tarda la válvula en nivelarse se encuentra dentro del intervalo de 130 y 170 segundos, 50 segundos de holgura para los datos obtenidos el caudal se torna estable, estos valores se vinculan con la apertura de válvula inicial si es más cercana del 0% de apertura, el tiempo para que la señal sea estable será mayor.

4.2. Recomendaciones

- Se debe de considerar factores primordiales para la instalación de los equipos el lugar debe de satisfacer con el potencial requerido de altura y caudal para el correcto funcionamiento de la turbobomba, así como también su factibilidad de instalación.
- Para que el caudal se mantenga homogéneo a lo largo de la tubería, es necesario realizar una adecuada instalación de la obra civil puesto que es la encargada de recolectar y almacenar el volumen de agua necesario para el correcto funcionamiento del sistema y elevar la eficiencia de la turbina.
- Los dispositivos electrónicos en nuestro caso lo sensores que se encuentran en contacto directo con el agua se debe de encapsularlos correctamente para evitar cortos y fallos en el sistema.
- Considerar alternativas en la obra civil como (barreras, desvíos de caudal, etc.) frente a variaciones climáticas como son deslaves, aumento de caudal repentino, acumulación de escombros, arena, rocas entre otros, estos factores afectan al funcionamiento de la turbina y la integridad de la instalación misma por la cual es de vital importancia estudiarla.

- El agua al ingreso de la tubería se debe de filtrar usando malla o algún otro sistema para evitar que ingrese rocas o residuos que puede causar daños a la válvula como a las aspas de la turbina.
- La calibración de equipos y pruebas de sensores realizarlos previo a la instalación, esto ayudara a disminuir tiempo, gastos anexos al proceso y ganar eficiencia.
- Se debe de usar gel, aceite, vaselina o algún otro tipo de acoplante entre el sensor ultrasónico y la tubería, mismo que ayuda a mejorar la transmisión del sonido del transductor hacia la tubería.
- La estructura del programa con el que el usuario se va a relacionar debe de ser entendible, fácil de usar. El programa debe de mostrar en tiempo real el ingreso de datos de los sensores facilitando al usuario determinar si todo esta funcionando correctamente.
- Para una mejor visualización en las gráficas se recomienda realizar ensayos de 15 minutos o más, en intervalos de 15 a 20 (s), variando el caudal base, mientras el registro de datos obtenga más puntos referenciales se puede visualizar de mejor manera el comportamiento de la curva sistema.
- Contar con el suficiente personal para la movilización e instalación de todos los materiales.
- Realizar mantenimiento frecuente de partes y piezas de la turbina como son las chumaceras, rodamientos, elementos pequeños ya que estos están con contacto con agua a grandes presiones pueden ingresar a lugares que se encuentran sellados herméticamente.

Referencias bibliográficas

- [1] Á. J. Barona y Á. D. Dávila, "Diseño y construcción de una turbobomba con turbina Pelton", Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2018.
- [2] X. I. Chimbo, "Obtención de energía eléctrica mediante un generador de imanes permanentes de flujo axial a partir de rotobombas con turbina Pelton y Michael Banki disponibles en el laboratorio de la FICM", Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2019.
- [3] C. O. Coronel y J. J. Hernández, "Diseño y construcción de una turbobomba accionada mediante una turbina Banki para riego de cultivos en los sectores vulnerables", Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2018.
- [4] A. Olmedo, "Verificación experimental de una válvula reguladora de caudal en silicio utilizando tecnología MENS", Chile: Universidad de Talca, 2012.
- [5] E. I. Alarcón, "Desarrollo de sistema mecánico-eléctrico a una válvula convencional, que permita el control continuo del caudal", Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, 2019.
- [6] J. A. Avilés y J. L. Viscarra, "Identificación y diseño del controlador para un sistema de regulación de caudal líquido", Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2011.
- [7] D. Bermúdez, "Riego de huerta automatizado por Arduino", Pamplona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación, 2014.
- [8] J. N. Condori, "Diseño de regulador de caudal para uso en turbinas hidroeléctricas Michell Banki", La Paz - Bolivia: Universidad Mayor de San Andres, 2012.
- [9] H. C. Terán, G. R. Torres, O. B. Arteaga y W. E. Sánchez, *Mecánica de fluidos*, Primera Edición., D. Aguirre, Ed., Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, 2018.

- [10] B. Zamora y A. Viedma, *Máquinas hidráulicas: teoría y problemas*, Cartagena: Primea Edición, upct, 2016.
- [11] J. L. Prieto, *Máquinas e instalaciones hidráulicas y eólicas*, España: Dextra, 2017.
- [12] A. Cajal, Lifeder, 02 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.lifeder.com/turbina-pelton-historia-funcionamiento-aplicacion/>. [Último acceso: 12 Diciembre 2019].
- [13] A. F. Vega, P. R. Álvarez y J. C. Cajilima, "Diseño, simulación y construcción de un prototipo comercial de picocentral hidroeléctrica accionada con una turbina Pelton para el área de la energía, las industrias y los recursos naturales no renovables de la Universidad Nacional de Loja", Loja: Universidad Nacional de Loja, 2012.
- [14] J. Soriano, *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquinas hidráulicas*, España: Ciencia 3, S.L., 2011.
- [15] G. López, J. Ingrid, G. Perdomo, J. Harold y J. Mora del Alba., "Estudio de prefactibilidad para una empresa especializada en mantenimiento de válvulas de compuerta y bola de diámetros comprendidos entre 8 y 20 (in) en la ciudad de Cartagena-Bolívar", Cartagena de Indias: Universidad Tecnológica de Bolívar, 2011.
- [16] E. C. Nieto, "Manufactura y automatización", Ingeniería e Investigación, 3^{ra} ed., vol. 26, pp. 120-128, Diciembre 2006.
- [17] A. Aldáz, "Diseño y construcción de un sistema de control para un generador de energía renovable híbrido eólico-fotovoltaico ubicado en el sector de río blanco comunidad de Yatzaputzán Provincia de Tungurahua", Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2020.
- [18] C. Roman, *Sistema de control, Microsoft - Tesinaglobal*, México: Upconmmons, 2014, pp. 5-7.
- [19] A. Ruiz, F. Ros y J. Rico, *Guía práctica de sensores*, España, Creaciones Copyright SL, 2010.

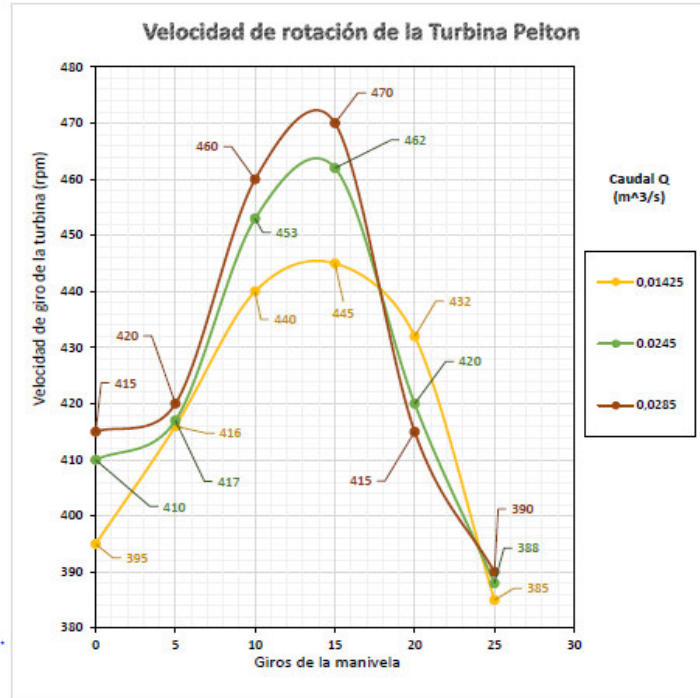
- [20] J. D. Peña, J. Gámiz Caro, A. Grau Saldes y H. *Martínez García*, *Introducción a los autómatas programables*, Primera ed., Catalunya: UOC, 2003.
- [21] R. Jiménez, *Programación de microcontroladores PIC, lenguaje de alto nivel orientado a gama alta*, Bogotá: U Antonio Nariño, 2010.
- [22] J. Herrera, M. Barrios y S. Pérez, "Desing and implementation of a wireless scada system by means of zigbee and Arduino technology", *ResearchGate*, 2nd ed., vol. 12., pp. 31-35, Jul/Dic. 2014.
- [23] S. D. Guamá Tequiz and D. A. Vargas Albán, "Construcción de un módulo de medición de radiación solar", Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2020.
- [24] Ó. Torrente, *Curso práctico de formación*, México, Alfaomega, 2013.
- [25] Q. Franklin y H. Hugo, "Sistema de control electrónico de velocidad Máxima y GPS en un vehículo", Ibarra: Universidad Técnica del Norte, 2017.
- [26] Á. Varela Geis, "Estudio de diagnosis de válvulas motorizadas como técnica de mantenimiento predictivo en centrales de generación eléctrica", Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña, 2011, pp. 153,154, 155.
- [27] Universidad de Barcelona, "Materiales", [En línea]. Available: www.ub.edu/cmematerials/es/content/policloruro-de-vinilo. [Último acceso: 28 Octubre 2020].
- [28] Técnicas de Medida y Metalografía, S.A, Noticias sobre tecnología, 02 Febrero 2015. [En línea]. Available: www.tecnimetalsa.com. [Último acceso: 04 Noviembre 2020].
- [29] J. R. Ayala, "Métodos disponibles para la medida de la velocidad y el caudal en colectores de saneamiento, aguas residuales y vertidos". *TecnoAqua*, vol. 7., pp. 40-52, May/Jun. 2014.
- [30] L. Llamas, Ingeniería Informática y Diseño, 04 Mayo 2015. [En línea]. Available: www.luisllamas.es/detectar-campos-magneticos-con-arduino-y-sensor-hall-a3144/. [Último acceso: 04 Noviembre 2020].

- [31] ELAP, "Incremental Encoders", [En línea]. Available: www.elap.it/. [Último acceso: 18 Septiembre 2020].
- [32] Ingeniería Mecafenix, "Encoder ¿cómo funciona? y sus tipos", [En línea]. Available: www.ingmecafenix.com/automatizacion/encoder/, 28 abril, 2017 [Último acceso: 18 Septiembre 2020].
- [33] J. R. Lajara y J. Pelegeri, "LabVIEW: Entorno gráfico de programación", Barcelona: Marcombo S.A, 2011.
- [34] Tubería Corrugada PVC, "Grupo Los Hidros CD", 05 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://grupoloshidrosed.ec/corrugado-pvc/>. [Último acceso: 22 Noviembre 2020].
- [35] Alibaba, "Oem Tipo D Ss316 304, Acoplamientos de conexión rápida, acoplamiento de tubería". [En línea]. Available: www.spanish.alibaba.com/product-detail/a2-a4-stainless-steel-304-316-camplock-coupling-type-d-female-coupler-60209860328.html. [Último acceso: 14 Diciembre 2020].
- [36] D. Van. Dalen y W. Meyer, "Manual de Técnica de la Investigación Educativa", Paidós, 1971.

ANEXOS

Anexo A

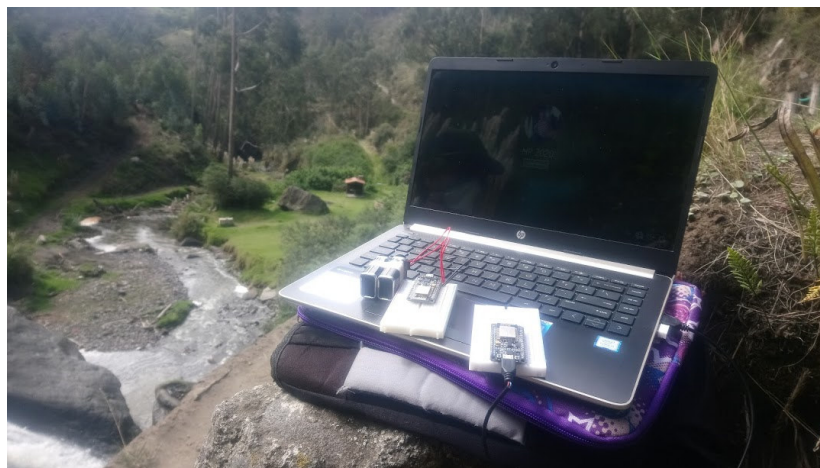
Gráfica Velocidad de giro del eje de la turbina Vs Giro de manivela del Inyector (n).



Fuente: [1]

Anexo B

Verificación de señal y factibilidad de instalación



Fuente: Autor

Anexo C

Pruebas caudalímetro



Fuente: Autor

Anexo D

Manguera corrugada Pvc



Fuente: Autor

Transporte de los componentes, generador, turbobomba, mangueras, etc.



Fuente: Autor



Fuente: Autor

Instalación de acoples



Fuente: Autor

Instalación de la tubería y demás dispositivos



Fuente: Autor

Anexo E

ACOPLE RÁPIDO TIPO D SS316 304



Description

Acoplamiento de manguera compuesto de aluminio

Estándar: Nuestro **acoplamiento de manguera compuesto de aluminio** está fabricado según el estándar AA-59328 (que reemplaza a MIL-C-27487) o DIN 2628.

Material: Aluminio

Tamaños: De 1 " a 4 "

Tipos: C, E y helicoidal macho

Palancas de leva: utilizamos palancas de leva de acero inoxidable o latón.

Pines, anillos y clips de seguridad: utilizamos pasadores, anillos y clips de seguridad de acero inoxidable o chapados en acero.

Sellos: NBR, EPDM, Viton, junta envolvente de PTFE, otros materiales están disponibles bajo pedido.

Hilos: NPT, BSP (Normalmente hacemos la rosca hembra BSPP paralela, rosca macho BSPT cónica)

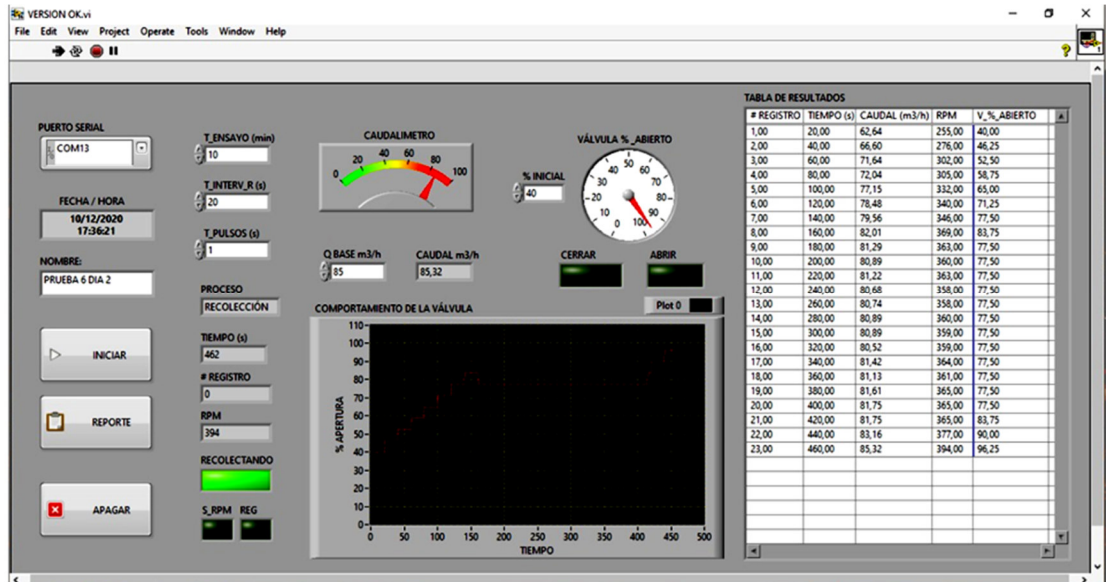
Product Photos

Anexo F

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO ESP2866 WIFI

Características	Microcontrolador
Procesador	<i>Xtensa® Dual-Core 32-bit LX6 microprocessors, up to 600 DMIPS</i>
CPU principal	<i>Tensilica Xtensa 32-bit LX6</i>
Frecuencia de reloj	Hasta 240Mhz
Desempeño	Hasta 600 DMIPS
Procesador secundario	Permite hacer operaciones básicas en modo de ultra bajo consumo
Memoria RAM	520 KByte
Memoria Flash	4 MBytes
ROM	448 KByte
Voltaje de alimentación	5 (V _{DC})
Votaje de Entradas/Salidas	3.3 (V _{DC})
Wi-fi	802.11 b/g/n/efi (802.11n @ 2.4 GHz hasta 150 Mbit/s)
Bluetooth	v4.2 BR/EDR and <i>Bluetooth Low Energy (BLE)</i>
Pines Digitales GPIO	24 (Algunos pines solo como entrada)
Convesor Analógico Digital	Dos ADC de 12bits tipo SAR, soporta mediciones en hasta 18 canales, algunos pines soportan un amplificador con ganancia programable.
UART	2
Chip USB-Serial	CP2102

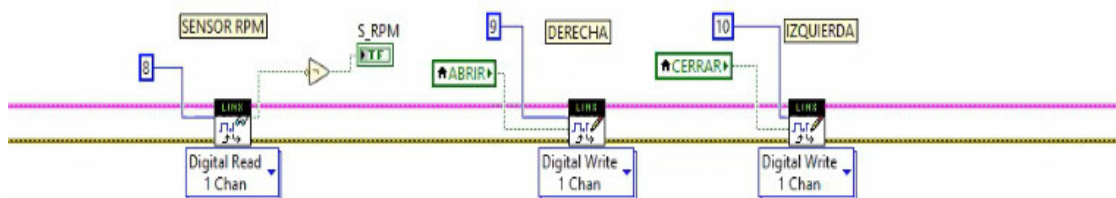
Anexo G



Panel frontal del programa, Software LabVIEW

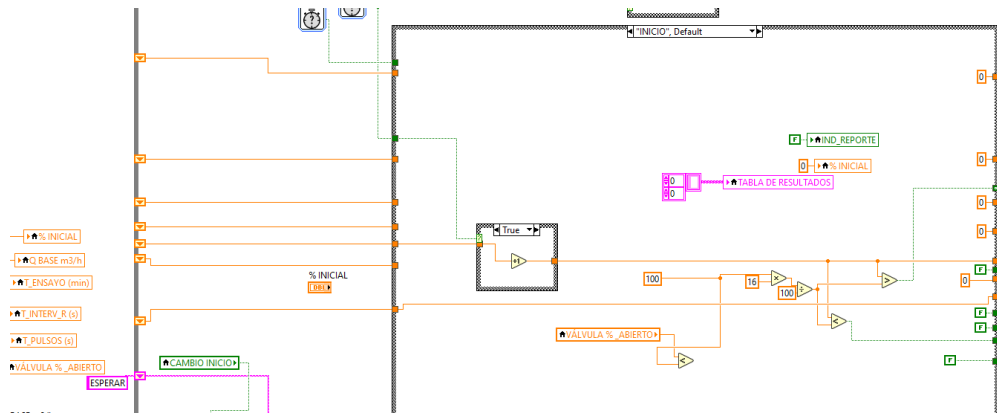
Fuente: Autor

Anexo H: Se observa la parte del programa que permite ingresar la señal de las revoluciones como la salida de señal al actuador, el ingreso de la lectura del sensor Hall (sensor rpm) se encuentra conectado al pin digital 8 del Arduino., la salida de señal al pin digital 9 para gira hacia la derecha y 10 para girar hacia la izquierda posteriormente se conecta al módulo L298 (puente H) para completar la acción en el actuador.

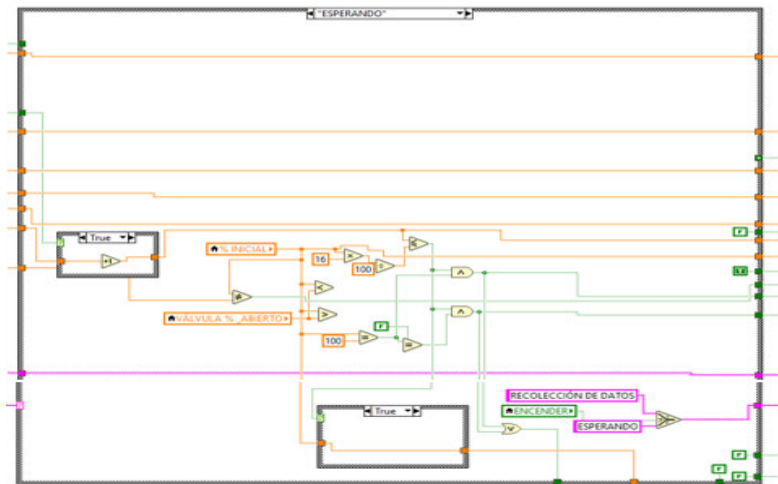


Fuente: Autor

Anexo I: Los estados en la ejecución del programa están repartidos en 4 procesos, "INICIO", "ESPERANDO", "RECOLECCIÓN DE DATOS" y "REPORTE" los mismos se encuentran detallados a continuación:

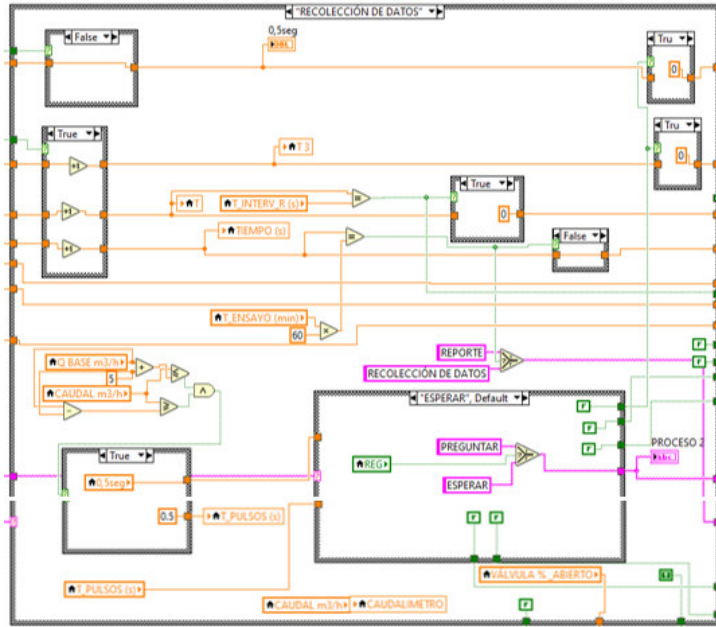


"INICIO": El inicio es la primera instancia en la ejecución del programa, el porcentaje de apertura de válvula se igualará a 0.



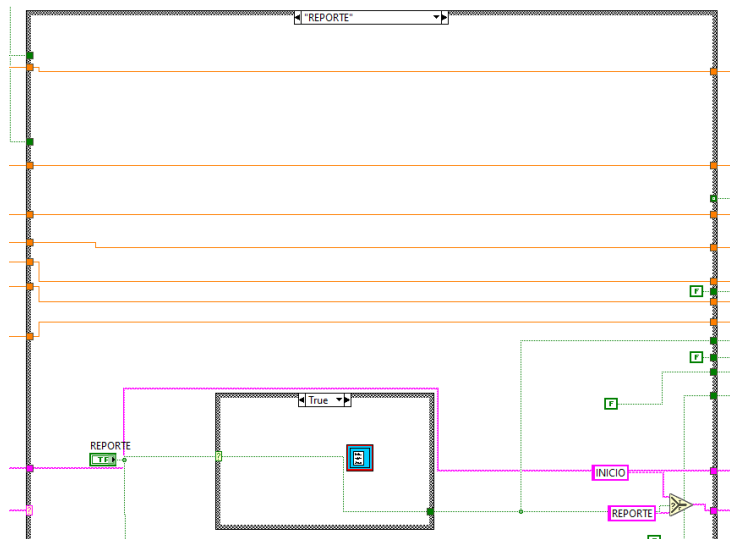
Fuente: Autor

"ESPERANDO": En el segundo proceso requiere ingresar los parámetros de ensayo planteados como es el caudal base (Q1), tiempo de ensayo, tiempo registro de datos, pulsos (s) para la válvula y el porcentaje de apertura de la válvula verificando que los sensores se encuentren en buen funcionamiento.

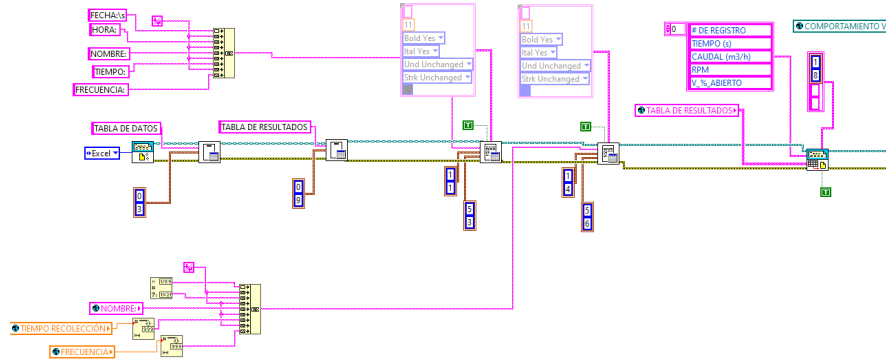


Fuente: Autor

"RECOLECCIÓN DE DATOS": Al comenzar el ensayo el programa en dependencia del intervalo de tiempo para el registro de dato preguntará cual es el caudal real (Q_2), se ejecutará la comparación con el caudal base (Q_1+2), si es menor la válvula se abrirá, si es mayor la válvula se cerrará y si es igual al rango de caudal base el programa no ejecutara acción en el actuador. El programa se ejecutará (n) veces, resultado del tiempo total de ensayo entre el intervalo de tiempo para el registro de datos insertado.



Finalmente "REPORTE": El reporte se genera en un archivo Excel al finalizar el ensayo, presionando el botón reporte después que se ha finalizado la recolección de datos, en el reporte se imprime todos los datos recolectados por los sensores y los generados por el mismo programa (# REGISTRO, TIEMPO (s), CAUDAL REAL (Q2), RPM, V_%_ABIERTO) adicional se exporta una gráfica del comportamiento de la válvula y los parámetros de ensayos ingresados.



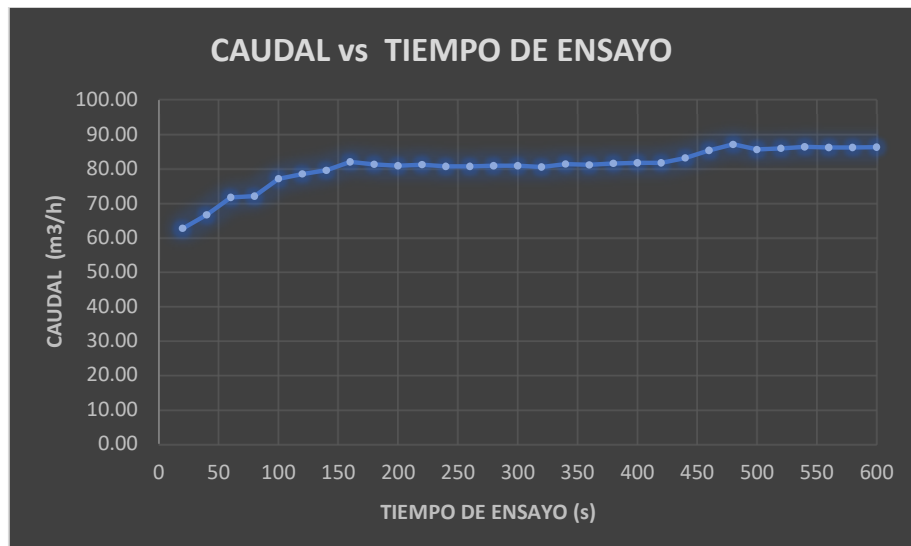
Fuente: Autor

GRÁFICAS CORRESPONDIENTES A LOS ENSAYOS

Prueba A – Turbina sin carga

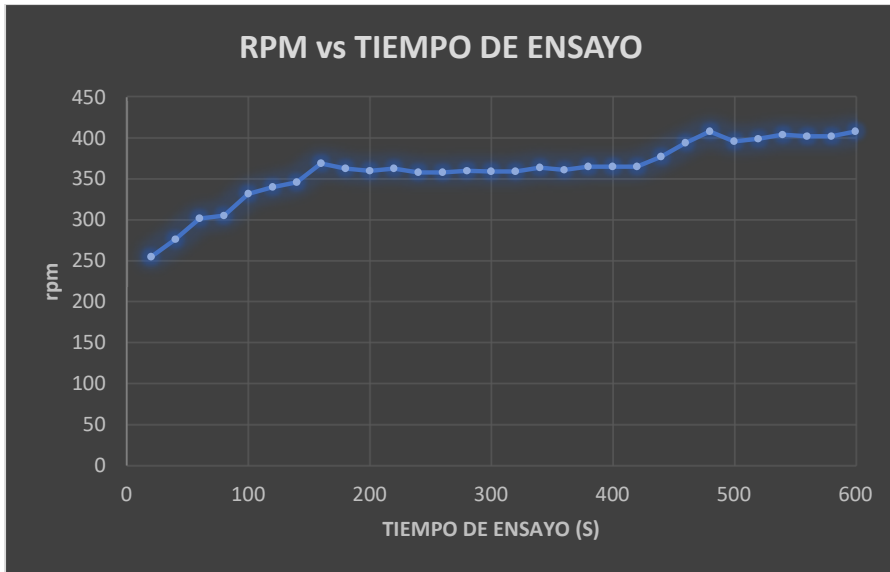
Ensayo N° 1

Anexo J: Comportamiento del caudal en función del tiempo de ensayo N° 1



Fuente: Autor

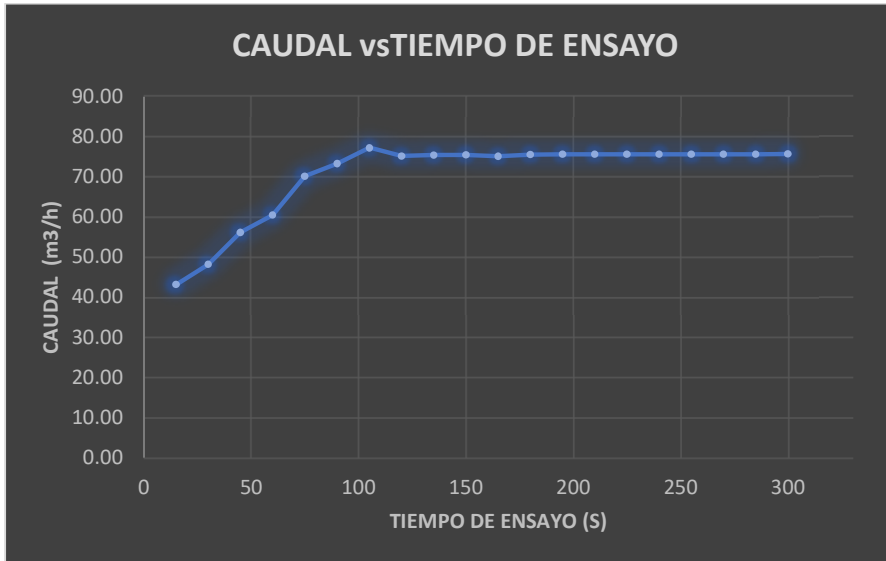
Anexo K: Comportamiento de las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 1



Fuente: Autor

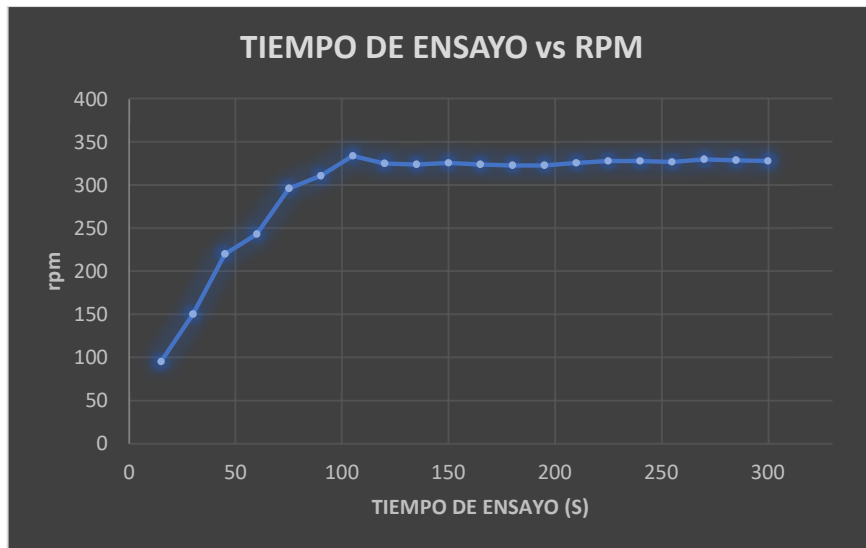
Ensayo N° 2

Anexo L: Comportamiento del caudal en función del tiempo de ensayo N° 2



Fuente: Autor

Anexo M: Comportamiento de las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 2

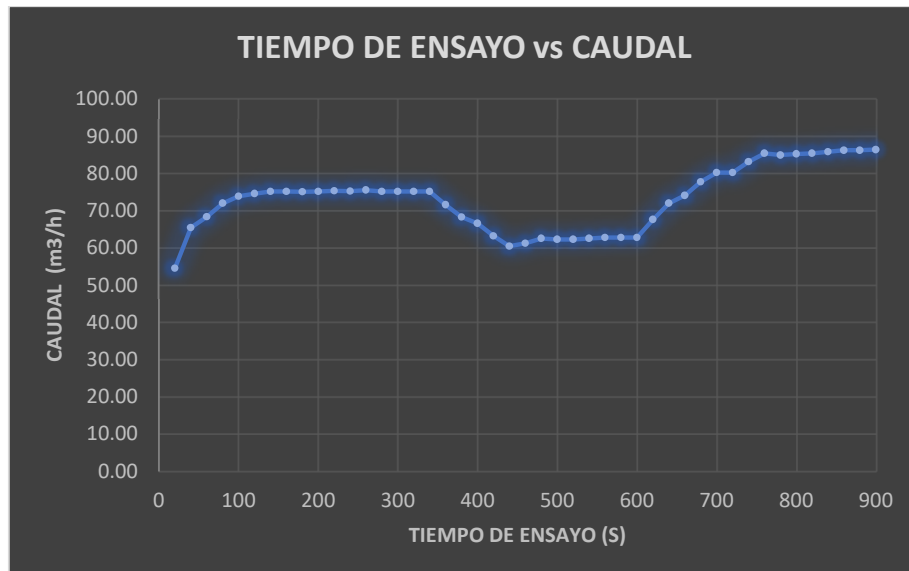


Fuente: Autor

Prueba B – Turbina con carga

Ensayo N° 1

Anexo N: Comportamiento del caudal en función del tiempo de ensayo N° 3



Fuente: Autor

Anexo O: Comportamiento de las revoluciones en función del tiempo de ensayo N° 3



Fuente: Autor

Anexo P

Turbina sin resistencia



Fuente: Autor

Anexo Q

Turbina con resistencia



Fuente: Autor

Anexo R



DATA SHHET VÁLVULA MOTORIZADA

DESCRIPTION

The VC series 2-position hydronic valves are used in domestic and small commercial applications to control the flow of hot and/or cold water. They consist of an actuator, valve and a cartridge assembly.

2-way valves are designed for ON-OFF "zone" control of domestic systems.

3-way valves can be piped for either diverting or mixing valve applications in domestic central heating and/or cooling systems. Both versions can be used to control individual fan coil, baseboard radiator or convector applications.

Depending on the model selected they can be controlled by a low or line voltage SPST  or SPDT  controller, such as a room thermostat, aquastat or flow switch.

The VC series hydronic valves are designed to take advantage of sinusoidal valve actuator travel and therefore operate silently and without water hammer. Through internal logic the actuator only takes power while driving the valve to the commanded position.

The actuator head is removable without affecting the integrity of the water system. All actuator versions are interchangeable with any valve body, offering the highest flexibility for boiler production line assembly and maintenance.

The valve piston construction allows for port sealing that is independent of the differential pressure across the valve.

Flow through the 2-way valve can be in either direction, so the ports are not designated.

3-way valves are suitable for both diverting water from AB to A or to B and from A or B to AB.

FEATURES

- 2-way or 3-way body
- Wide variety of pipe connections including:
 - ISO 7-1 (BSP, Pt)
 - BSP.T
 - NPT
 - Sweat
 - Compression
 - Flare
- Control by a low or line voltage SPST or SPDT control
- 24 Vac, 100 ... 130 Vac or 200 ... 240 Vac actuators available
- SPDT auxiliary switch available
- Quick connect electrical connections or 1000 mm leads
- Minimal actuator power consumption
- Double insulated actuator
- Pressure differential up to 4 bar
- 1 ... 95 °C fluid temperature
- 0 ... 65 °C ambient temperature
- Quick and easy replacement of moving parts
- Actuator head installation does not require draining of the system.

CONSTRUCTION AND OPERATION

All moving and sealing parts of the valve are constructed in the cartridge assembly.

The ports are sealed with "O"-rings on the outer surface of the piston.

When the valve stem is driven down to open port A the water will flow through the hollow piston to the other port.

In case of a 3-way valve with the piston driven down port B is sealed, allowing flow between port AB and port A. With the stem up the flow is between port AB and port B.

The VC series hydronic valves offer a variety of versions of pipe connections to suit the different applications.

The valve pressure loss characteristic is dependent on the pipe connection/dimensions

For the actual valve rating please refer to the specification section.

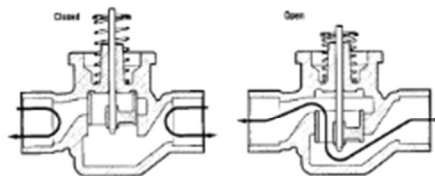


Fig. 1.

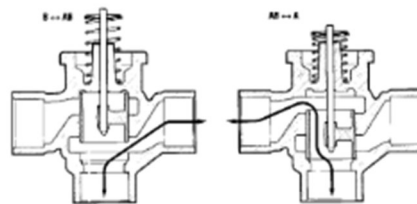


Fig. 2.

2-way valve

2-way valve with an SPDT (3-wire) actuator

On a call for heat, the NO controller contacts close and the valve opens. When the valve is fully open, the cam closes switch SW₁ and opens switch SW₂.

When the need for heat is satisfied the NC controller contacts close, energizing the valve through SW₁ and closing the valve.

When the valve is fully closed the cam closes SW₂ and opens SW₁. The valve is ready for the next call for heat.

2-way valve with an SPST (2-wire and common) actuator

On a call for heat, the controller contacts close, RLY₁ is energized making the NO contacts in switch SW₃ causing the valve to open.

When the valve reaches the fully open position the cam closes switch SW₁ and opens the switch SW₂.

When the need for heat is satisfied, the controller contacts open, RLY₁ is de-energized and the valve motor driven through SW₁ and the NC contacts of SW₃.

When the valve reaches fully closed position, the cam closes SW₂ and opens SW₁. The valve is ready for the next call for heat.

For both types of actuator a power failure will leave the valve at the position it was interrupted.

When power is restored, the valve will respond to controller demand.

3-way diverter valve

3-way diverter valve with an SPDT (3-wire) actuator

On a call for heat, the NO controller contacts close, the valve closes port B and opens port A.

When port A is in the fully open position, the cam closes limit switch SW₁ and opens limit switch SW₂.

When the need for heat is satisfied the NC controller contacts close, energizing the valve through SW₁, causing port A to close.

When port A is fully closed the cam closes SW₂ and opens SW₁. The valve is ready for the next call for heat.

3-way diverter valve with an SPST (2-wire and common) actuator

On a call for heat, the controller contacts close, RLY₁ is energized making the NO contacts in switch SW₃ causing port B to close and port A to open.

When port A reaches the fully open position the cam closes switch SW₁ and opens the switch SW₂.

When the need for heat is satisfied, the controller contacts open, RLY₁ is de-energized making the NC contacts in SW₃ and port A is driven closed through SW₁ and the NC contacts of SW₃.

When port A is in the fully closed position, the cam closes SW₂ and opens SW₁. The valve is ready for the next call for heat.

For both types of actuator a power failure will leave the valve at the position it was when interrupted.

When power is restored, the valve will respond to controller demand.

Wiring

Fig. 3. and 4. show wiring connections for SPDT and SPST controllers on either 2-way valves or 3-way valves.

Port A "open" and "closed" denotes valve open and closed for 2-way, and AB-B open and AB-B open for 3-way valves respectively.

On a 2-way valve:

Port A open denotes valve open

On a 3-way valve:

Port A open denotes flow through AB-A

Port A closed denotes flow through AB-B

For mixed low/line voltage, the cable assembly version recommended.

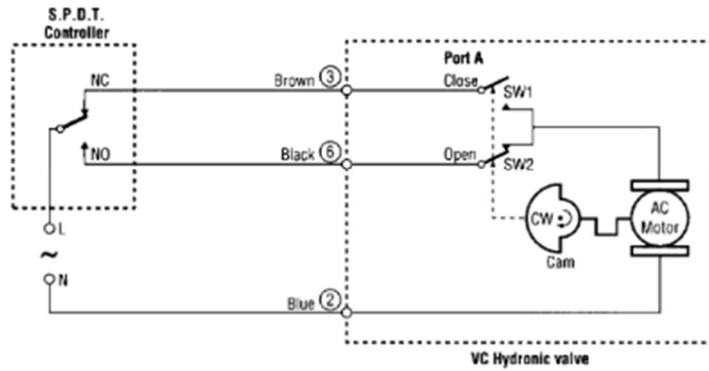


Fig. 3. Logic sequence diagram with 3 wire actuator for SPDT controller

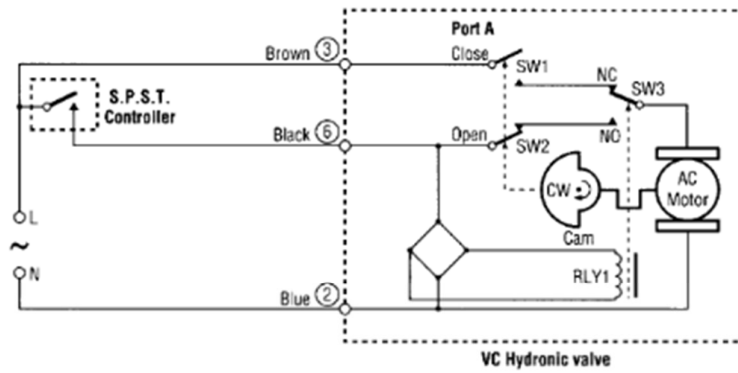


Fig. 4. Logic sequence diagram with 2 wire + common actuator for SPST controller

SPECIFICATIONS

Voltage	Colour-coded label
24 V, 50/60 Hz	Blue
100 ... 130 V, 50/60 Hz	Black
200 ... 240 V, 50/60 Hz	Red

Power consumption

6 Watt maximum at nominal voltages (during valve position change only)
 6 VA for transformer and wiring
 Maximum power time: 15%

End switch rating

2.2 A inductive from 5 ... 120 Vac
 1.0 A inductive above 120 ... 277 Vac
 Minimum dc switching capability: 0.05A 24 Vdc

Nominal timing

Valve opens in 6 seconds @ 60 Hz (20% longer @ 50 Hz)

Electrical termination

- Molex™ (header# 39-30-1060)
 Requires mating connector receptacle/housing # 39-01-2060
 Contacts: Mini-Fit 5556 series
- With integral 1000 mm (39") leadwire cable

Pipe fitting sizes

See table 1.

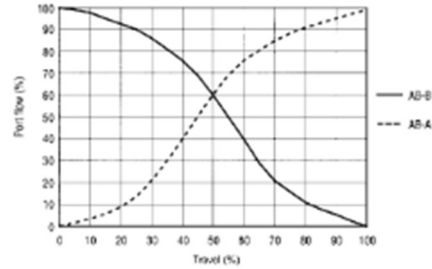


Fig. 5. 3-way valve diverting flow characteristic at constant pressure on port AB

Table 1. Pipe fitting sizes

Pipe fitting sizes	3/8"	1/2"	3/4"	1"	15 mm	22 mm	28 mm	Note: N - not threaded I - internally threaded E - externally threaded
Flare	E	E	-	-	-	-	-	
Inverted flare	-	I	-	-	-	-	-	
Sweat	-	N	N	N	-	-	-	
BSPP	-	I	E, I	E, I	-	-	-	
BSPT	-	I	I	-	-	-	-	
NPT	-	-	I	I	-	-	-	
Compression fitting	-	-	-	-	I	E	E	

Terminal	Action	Wire colour
1	Com*	Orange
2	Neutral	Blue
3	Closed**	Brown
4	NO*	Grey
5	NC*	White
6	Open**	Black

- * Terminals 1, 4 and 5 are only connected if an auxiliary switch is used.
 NO, NC refers to port A closed position
- ** Refers to port A (closed or open)

NOTE: For mixed voltages (low/line voltage) the cable assembly version is recommended

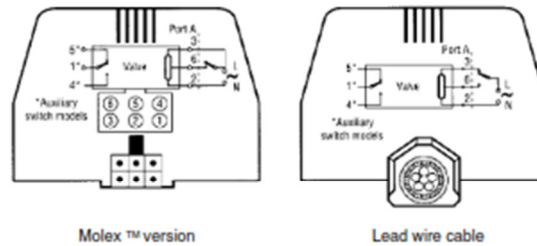


Fig. 6. Wiring terminal colour coding

Table 2. Wiring connections and valve movements

Actuator type	Connections		2-way valve movement	3-way valve movement
	Cable model	Molex™ model		
3-wire (for SPDT controller)	Blue & brown energized Black de-energized	Pin #2 & 3 energized Pin #6 de-energized	Closes	A port closes
	Blue & black energized Brown de-energized	Pin #2 & 6 energized Pin #3 de-energized	Opens	B port closes
2-wire + common (for SPST controller)	Blue & brown energized Brown and black open	Pin #2 & 3 energized Pin #3 and 6 open	Closes	A port closes
	Blue & brown energized Brown and black closed	Pin #2 & 3 energized Pin #3 and 6 closed	Opens	B port closes

Ambient temperature
0 ... 65 °C

Fluid temperature
1 ... 95 °C (120 °C short duration peak)

Shipping storage temperature
-40 ... 65 °C

Pressure rating
Static: 20 bar
Burst: 100 bar

Maximum operating pressure differential
4 bar

Flow rating
Dependent upon body configuration (see fig. 5., 7. and 8.)

Flow rate Q m³/h to be calculated as:

$$Q = K_v \times \sqrt{\Delta p(\text{bar})}$$

Pressure loss Δp (bar) to be calculated as:

$$\Delta p = \left(\frac{Q}{K_v}\right)^2$$

Flow

2-way

Flow can be in either direction
Valve is closed without the actuator mounted

3-way

Flow can be diverting (AB to A or B) or mixing (A or B to AB).
Port A is closed without the actuator mounted

Valve material

Body: bronze
Cartridge: Ryton™ (polyphenylene sulphide)
Noryl™ (polyphenylene oxide)
"O"-ring seals: EPDM rubber
Stem: stainless steel
Actuator cover: Noryl™ (94V-0)
Actuator base: Ryton™ (94V-0)

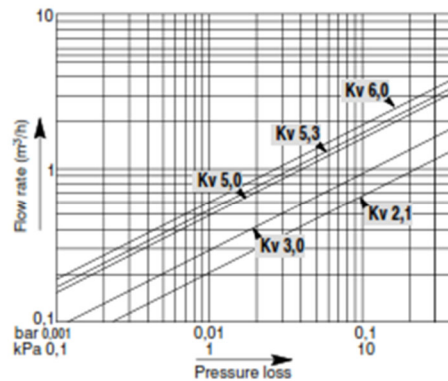


Fig. 7. Valve pressure loss characteristic for 2-way valves

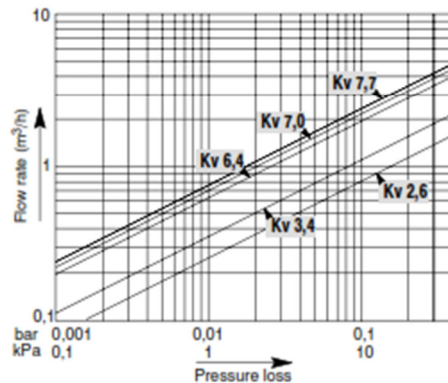
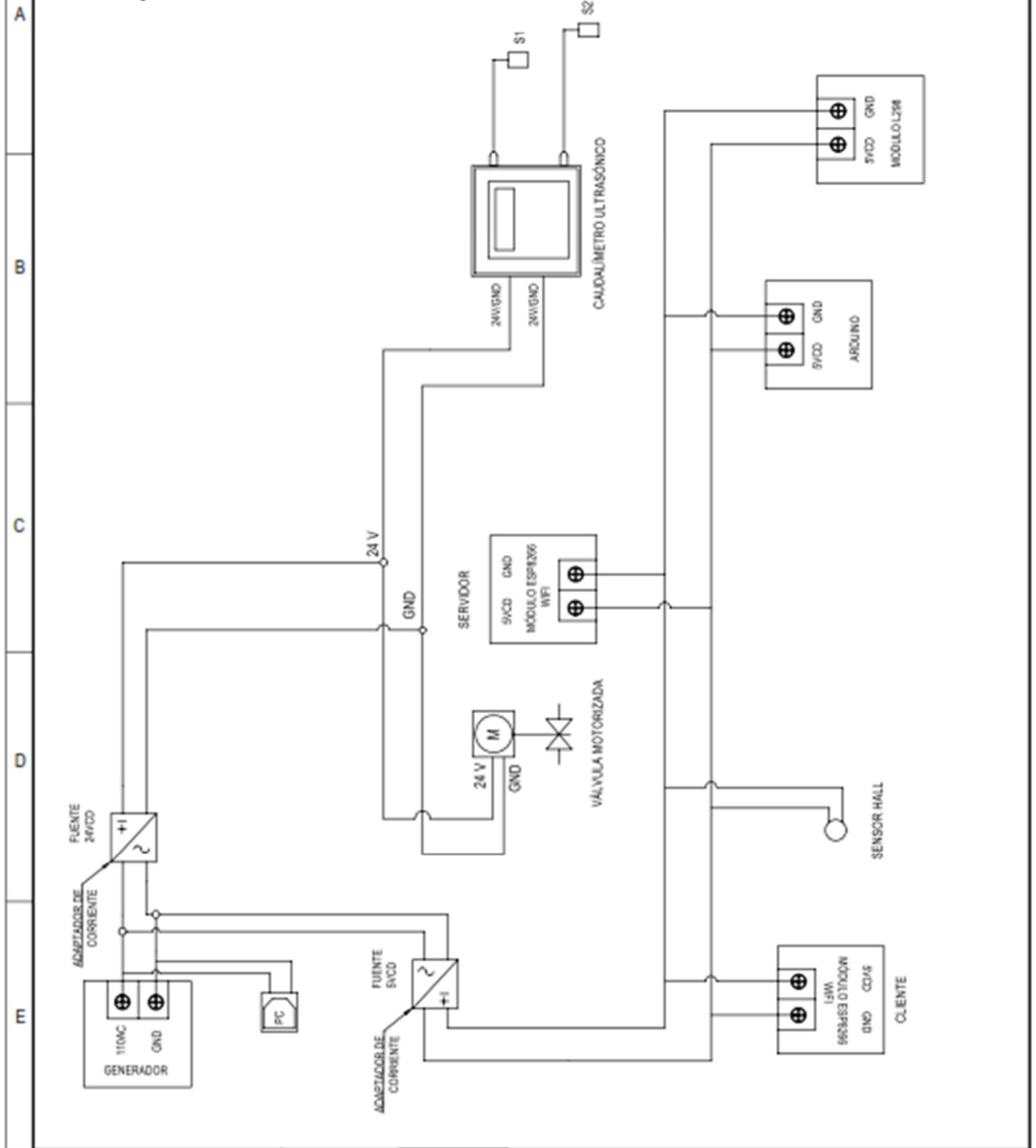


Fig. 8. Valve pressure loss characteristic for 3-way valves

Anexo S
Diagrama de Potencia

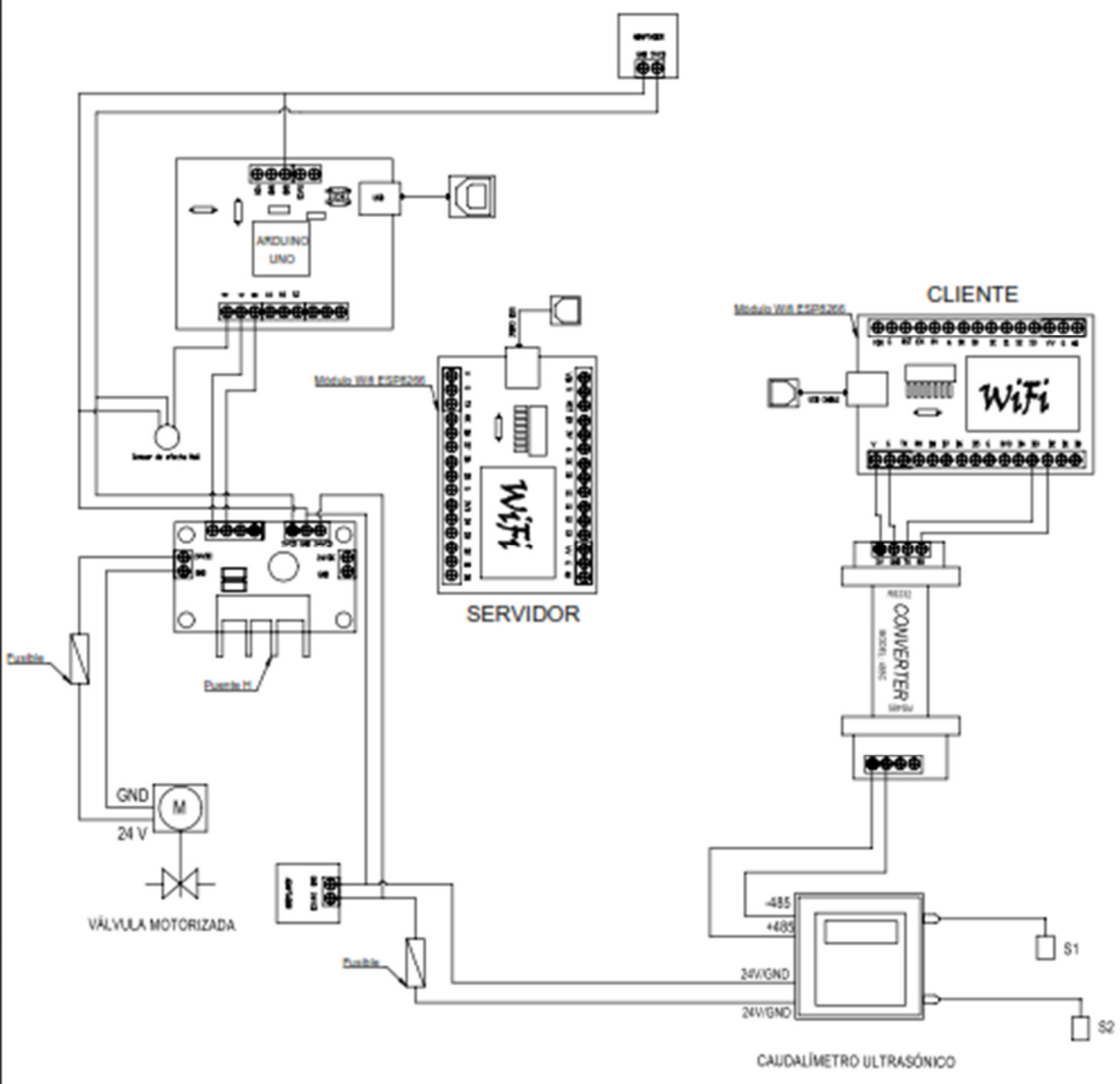


				Tolerancia:	Peso (Kg):	Material:		
				Fecha:	Nombre:	Titulo:		Escala:
				Dib. 20/12/20	Elvis Soto	DIAGRAMA DE POTENCIA		
				Rev. 20/12/20	Ing. Carrillo M.			
				Aprov. 20/12/20	Ing. Carrillo M.			
				U.T.A INGENIERÍA MECÁNICA		N. Lámina:	Hoja 01 de 02	
Edic.	Modificación	Fecha	Resp.			Sustitución:		

Anexo T

Diagrama de control

A
B
C
D
E



				Tolerancia:	Peso (Kg):	Material:	
				±			
				Fecha:	Nombre:	Título:	Escala:
				Dib. 20/12/20	Elvis Soto	DIAGRAMA DE CONTROL	
				Rev. 20/12/20	Ing. Carrillo M.		
				Aprov. 20/12/20	Ing. Carrillo M.		
				U.T.A		N. Lámina:	
				Ingeniería Mecánica		Hoja 02 de 02	
Edic.	Modificación	Fecha	Resp.			Sustitución:	