

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA
PROPUESTA TECNOLÓGICA

**“AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO DE TRANSPORTE DE FLUIDO
HIDRÁULICO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA DE LA
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2021”**

Proyecto de titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en
Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Kevin Johannes Armas Gavilanes

Boris Sebastián Toapanta Jiménez

Tutor Académico:

Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena

LATACUNGA-ECUADOR

2021

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	1
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	11
RESUMEN	13
ABSTRAC.....	14
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	15
2. INTRODUCCIÓN	16
2.1 EL PROBLEMA	17
2.1.1 Situación Problemática.....	17
2.1.2 Formulación del problema	17
2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	18
2.3.1 Objeto de estudio.....	18
2.3.2 Campo de acción	18
2.4 BENEFICIARIOS:	18
2.4.1 Beneficiarios Directos	18
2.4.2 Beneficiarias Indirectos.....	18
2.5 JUSTIFICACIÓN.....	18
2.6 HIPÓTESIS	18

2.7 OBJETIVOS	19
2.7.1 General	19
2.7.2 Específicos	19
2.8 SISTEMA DE TAREAS	20
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	21
3.1 ANTECEDENTES	21
3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA	22
3.2.1. Hidráulica	22
3.2.2. Mecánica de fluidos	22
3.2.3. Fluido	23
3.3. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS	23
3.3.1. Densidad.....	23
3.3.2. Peso específico	23
3.3.3. Volumen específico.....	23
3.3.4. Viscosidad	24
3.3.5. Presión.....	24
3.3.5.1. Presión atmosférica	24
3.3.5.2. Presión manométrica	24
3.3.5.3. Presión absoluta.....	25
3.3.6. Velocidad de flujo	25
3.3.7. Caudal	25
3.4. REGÍMENES DE FLUJO	25
3.4.1. Flujo uniforme.....	25
3.4.2. Flujo no uniforme.....	26
3.4.3. Flujo laminar	26
3.4.4. Flujo turbulento.....	26
3.4.5. Número de Reynolds.....	26
3.5. PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS	27
3.5.1. Ecuación de Darcy-Weisbach	27
3.5.2. Factor de fricción (f)	28
3.5.3. Diagrama de Moody.....	28
3.5.4. Ecuación de Blasius	28
3.5.5. Pérdidas de carga por accesorios.....	29

3.6. PARÁMETROS ELÉCTRICOS	31
3.6.1. Corriente eléctrica	31
3.6.1.1. Corriente Directa	31
3.6.1.2. Corriente Alterna.....	32
3.6.2. Voltaje	32
3.6.3. Energía y potencia.....	32
3.6.4. Potencia activa (P).....	33
3.6.5. Potencia reactiva (Q).....	33
3.6.6. Potencia aparente (S).....	33
3.6.7. Factor de potencia (fp)	33
3.6.8. Frecuencia eléctrica.....	33
3.7. AUTOMATIZACIÓN.....	33
3.7.1. Automatización Eléctrica	34
3.7.2. Sistemas de Control.....	34
3.7.3. Variables del sistema de control.....	34
3.7.4. Sistema Lazo Abierto	35
3.7.5. Sistema Lazo Cerrado	35
3.7.6. Tipos de Sistemas de Control.....	36
3.7.6.1. Sistema Manual	36
3.7.6.2. Sistema Semiautomático	36
3.7.6.3. Sistema Automático	37
3.8. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)	37
3.8.1. Elementos de un PLC	38
3.8.1.1. Fuente de alimentación.....	38
3.8.1.2. Módulo de memoria	38
3.8.1.3. Unidad Central de Proceso CPU	38
3.8.1.4. Sección de Entrada.....	38
3.8.1.5. Sección de Salida	38
3.9. PANTALLAS HMI.....	39
3.9.1. Aplicaciones generales de las HMI.....	39
3.10. ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	40
3.11. INTRODUCCIÓN AL PROTOCOLO MODBUS	40
3.11.1. Comunicación en MODBUS maestro-esclavo.....	41

3.11.2. Tipos de MODBUS	42
3.11.3. MODBUS TCP	42
3.11.4. PROFIBUS (Process Field Bus)	42
3.11.5. Protocolo PROFIBUS DP	42
3.11.6. Ventajas del protocolo de comunicación PROFIBUS DP	43
3.12. SENSOR DE CAUDAL	44
3.12.1. Tipos de sensores de Caudal	44
3.12.1.1. Mecánicos visuales.....	44
3.12.1.2. Electrónicos de molino.....	44
3.12.1.3. Electrónicos de turbina.....	45
3.13. SENSORES DE PRESIÓN	45
3.14. BOMBA HIDRÁULICA.....	46
3.14.1. Bomba Periférica.....	46
3.14.2. Ventajas de bombas periféricas.....	47
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
4.1. MATERIALES MECÁNICOS	48
4.1.1. Accesorios Tramo 1	48
4.1.2. Accesorios Tramo 2	48
4.1.3. Accesorios Tramo 3	49
4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL	49
4.2.1 PLC SIEMENS S7-1200.....	49
4.2.1.1 Características del PLC SIEMENS S7-1200.....	50
4.2.2 SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas SM 1231	51
4.2.3 Panel KTP400 Basic.....	52
4.2.3.1 Características Panel KTP400 Basic mono	52
4.2.4 Sensor de Caudal SUP-LWGY	53
4.2.4.1 Características del Sensor de Caudal SUP-LWGY	53
4.2.5 Sensor de presión HK3022.....	54
4.2.5.1 Características del Sensor de presión HK3022	54
4.2.6 Dispositivo analizador de energía SENTRON PAC 4200	55
4.2.6.1 Características principales del dispositivo SENTRON PAC 4200	55
4.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN	56
4.3.1 Contactor MC-9b	56

4.3.1.1 Características Contactor MC-9b	56
4.3.2 Relé Térmico METASOL MT-32.....	57
4.3.2.1 Características Relé Térmico METASOL MT-32	57
4.3.3 Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm	57
4.3.3.1 Características Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm.....	58
4.3.4 Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A Curva C 6 Ka.....	58
4.3.4.1 Características Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A	59
4.3.5. Switch DES-1005A	59
4.3.5.1. Características Switch DES-1005A.....	60
4.3.6. Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22mm.....	60
4.3.6.1. Características Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22 mm	61
4.3.7. Fuentes de Alimentación.....	61
4.4 ESQUEMA ELÉCTRICO	62
4.5 ESQUEMA DE FUERZA	63
4.6 METODOLOGÍA.....	63
4.6.1 Diseño y construcción del módulo hidráulico	63
4.6.2 Plano módulo hidráulico	64
4.6.3 Programación e Interfaz	65
4.6.3.1. Software SIEMENS TIA Portal V15	65
4.6.3.2. Entorno e interfaz del TIA Portal V15.....	65
4.6.3.3. Normalizado y Escalado de Sensores.....	66
4.6.3.4. Selección y configuración del HMI KTP400 Basic	66
4.6.3.5. Conexión del SENTRON PAC 4200 con el PLC S7-1200.....	68
4.6.3.6. Bloque para crear en archivo en el servidor web en el TIA Portal V15.....	69
4.6.3.7. Cálculo de pérdidas por fricción en tuberías y accesorios en el TIA portal V15	70
4.7 DIAGRAMA DE FLUJO.....	71
4.8. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS	72
4.8.1. Cálculo por fricción en tubería Tramo 1	72
4.8.2 Cálculo por fricción en tubería Tramo 2	73
4.8.3. Cálculo por fricción en tubería Tramo 3	74
4.9. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS.....	76
4.9.1 Codo HH 90°	76
4.9.2 Bushing	76

4.9.3. Unión Tee.....	77
4.9.4. Neplo.....	78
4.9.5. Unión Universal.....	78
4.9.6. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 1.....	79
4.9.7. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 2.....	79
4.9.8. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 3.....	80
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	81
5.1 Comparación Parámetros Hidráulicos Tramo 1 a 45° y 90°.....	81
5.2. Comparación Parámetros Eléctricos Tramo 1 a 45° y 90°.....	82
5.3 Comparación Parámetros Hidráulicos Tramo 2 a 45° y 90°.....	85
5.4 Comparación Parámetros Eléctricos Tramo 2 a 45° y 90°.....	87
5.5. Comparación Parámetros Hidráulicos Tramo 3 Completo a 45° y 90°.....	91
5.6. Comparación Parámetros Eléctricos Tramo 3 a 45° y 90°.....	93
5.7. Comparación Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 45°.....	96
5.8. Comparación Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 90°.....	97
5.9. Comparación Parámetros Eléctricos Diseño Completo a 45° y 90°.....	99
6. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	103
6.1. CÁLCULO TIR Y VAN.....	106
7. CONCLUSIONES.....	107
8. RECOMENDACIONES.....	108
9. BIBLIOGRAFÍA.....	109
10. ANEXOS.....	112
.....	123
.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Comportamiento corriente directa [13].....	31
Figura 3.2. Comportamiento corriente alterna [13].....	32
Figura 3.3. Diagrama de un sistema de Control [19].....	34
Figura 3.4. Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto [19].....	35
Figura 3.5. Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado [19].....	36
Figura 3.6. Diagrama de bloques de un sistema manual [19].....	36
Figura 3.7. Diagrama de bloques de un sistema semiautomático [19].....	37
Figura 3.8. Diagrama de bloques de un sistema automático [19].	37
Figura 3.9. PLC SIEMENS S7-1200 [21].	38
Figura 3.10. HMI KTP400 Basic Mono PN [23].	39
Figura 3.11. Interfaces Hombre Máquina –HMI [4].	39
Figura 3.12. SENTRON PAC 4200 [4].....	40
Figura 3.13. Protocolo Modbus [24].	41
Figura 3.14. Arquitectura Motbus [24].....	41
Figura 3.15. Conexión con Profibus DP[25].	43
Figura 3.16. Esquema de comunicaciones existentes en una red Profibus [25].....	43
Figura 3.17. Rotámetro [27].	44
Figura 3.18. Caudal metro electrónico de molino [27].....	45
Figura 3.19. Caudalímetro electrónico de turbina [28].	45
Figura 3.20. Sensor de presión [1].....	46
Figura 3.21. Bomba periférica 3.10. [29].	47
Figura 4.1. PLC SIEMENS S7-1200 [31].	50
Figura 4.2. Componente PLC SIEMENS S7-1200 [32].....	50
Figura 4.3. SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas SM 1231[33].....	51
Figura 4.4. Componentes del KTP400 Basic [34].....	52
Figura 4.5. Sensor de Caudal SUP-LWGY [35].	53
Figura 4.6. Sensor de presión HK3022 [1].....	54
Figura 4.7. Funcionamiento SENTRON PAC 4200	55
Figura 4.8. Contactor MC-9b [37].....	56

Figura 4.9. Relé Térmico METASOL MT-32 [39].	57
Figura 4.10. Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm [41].	58
Figura 4.11 Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A [42].	59
Figura 4.12. Switch DES-1005A [44] .	60
Figura 4.13. Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22mm [45].	61
Figura 4.14. Esquema Eléctrico.	62
Figura 4.15. Esquema de fuerza	63
Figura 4.17. Entorno TIA Portal V15.	65
Figura 4.18. Normalizado y Escalado de los Sensores.	66
Figura 4.19. Selección del modelo de dispositivo	67
Figura 4.20. Ventana del asistente del panel de operador	67
Figura 4.21. IP de la KTP400 Basic y el PLC S7-1200	68
Figura 4.22. Conexión del SENTRON PAC 4200 al PLC S7-1200	68
Figura 4.23. Transferencia de datos.	69
Figura 4.24. Bloque para crear datos	69
Figura 4.25. Almacenamiento de datos	70
Figura 4.26. Bloque de cálculo.	70
Figura 5.1. Comparación Caudal Tramo 1	82
Figura 5.2. Comparación Voltaje Tramo 1	83
Figura 5.3. Comparación Corriente Tramo 1	84
Figura 5.4. Comparación Potencia Activa Tramo 1	84
Figura 5.5. Comparación Potencia Aparente Tramo 1	85
Figura 5.6. Comparación Potencia Reactiva Tramo 1	85
Figura 5.7. Comparación Caudal Tramo 2	87
Figura 5.8. Comparación Voltaje Tramo 2	89
Figura 5.9. Comparación Corriente Tramo 2	90
Figura 5.10. Comparación Potencia Activa Tramo 2	90
Figura 5.11. Comparación Potencia Aparente Tramo 2	91
Figura 5.12. Comparación Potencia Reactiva Tramo 2	91
Figura 5.13. Comparación Caudal Tramo 3	92
Figura 5.14. Comparación Voltaje Tramo 3 Completo	94
Figura 5.15. Comparación Corriente Tramo 3 Completo.	95
Figura 5.16. Comparación Potencia Activa Tramo 3 Completo	95

Figura 5.17. Comparación Potencia Aparente Tramo 3 Completo	96
Figura 5.18. Comparación Potencia Reactiva Tramo 3 Completo	96
Figura 5.19. Comparación Caudal Diseño Completo a 45°	97
Figura 5.20. Comparación Caudal Diseño Completo a 90°	98
Figura 5.21. Comparación Voltaje Diseño Completo	100
Figura 5.22. Comparación Corriente Diseño Completo	101
Figura 5.23. Comparación Potencia Activa Diseño Completo.....	101
Figura 5.24. Comparación Potencia Aparente Diseño Completo.....	102
Figura 5.25. Comparación Potencia Reactiva Diseño Completo	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Número de Reynolds [11].	27
Tabla 3.2. Resistencia de accesorios para tuberías [1].	30
Tabla 3.3. Factor de fricción en la zona turbulenta completa [1].	30
Tabla 4.1. Accesorios Tramo 1	48
Tabla 4.2. Accesorios Tramo 2	48
Tabla 4.3. Accesorios Tramo 3	49
Tabla 4.4. Características Técnicas [33].	51
Tabla 4.5. Características SUP-LWG [35].	53
Tabla 4.6. Características Sensor de presión HK3022 [1].	54
Tabla 4.7. Características Contactor MC-9b [37].	56
Tabla 4.8. Características Relé Térmico METASOL MT-32 [39].	57
Tabla 4.9. Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm [41].	58
Tabla 4.10. Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A[42].	59
Tabla 4.11. Características Switch DES-1005A [44].	60
Tabla 4.12. Características Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22mm[45].	61
Tabla 4.13. Factores k para Codo HH 90°	76
Tabla 4.14. Factores k para Codo Bushing	76
Tabla 4.15. Cálculo Bushing 1	77
Tabla 4.16. Cálculo Bushing 2	77
Tabla 4.17. Cálculo Bushing 3	77
Tabla 4.18. Factores k para Unión Tee	78
Tabla 4.19. Factores k para Neplo	78
Tabla 4.20. Factores k para Unión Universal	78
Tabla 4.21. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 1	79
Tabla 4.22. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 2	79
Tabla 4.23. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 3	80
Tabla 5.1. Parámetros Hidráulicos Tramo 1	81
Tabla 5.2. Parámetros Eléctricos Tramo 1 a 45°	82
Tabla 5.3. Parámetros Eléctricos Tramo 1 a 90°	83

Tabla 5.4. Parámetros Hidráulicos Tramo 2 a 45°	86
Tabla 5.5. Parámetros Hidráulicos Tramo 2 a 90°	86
Tabla 5.6. Parámetros Eléctricos Tramo 2 a 45°	88
Tabla 5.7. Parámetros Eléctricos Tramo 2 a 90°	88
Tabla 5.8. Incremento de Potencia Tramo 2 a 45° y 90°	89
Tabla 5.9. Parámetros Hidráulicos Tramo 3 Completo	92
Tabla 5.10. Parámetros Eléctricos Tramo 3 Completo a 45°	93
Tabla 5.11. Parámetros Eléctricos Tramo 3 Completo a 90°	94
Tabla 5.12. Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 45°	97
Tabla 5.13. Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 90°	98
Tabla 5.14. Parámetros Eléctricos Diseño Completo a 45°	99
Tabla 5.15. Parámetros Eléctricos Diseño Completo a 90°	100
Tabla 6.1. Presupuesto materiales Eléctricos	103
Tabla 6.2. Presupuesto materiales mecánicos	104
Tabla 6.3. Presupuesto total.....	106
Tabla 6.4. Cálculo TIR Y VAN.....	106

RESUMEN

La facultad de ciencias de la ingeniería y aplicadas ve la necesidad de automatizar un módulo de transporte de fluido hidráulico con el fin de monitorear, medir y visualizar el comportamiento de los parámetros eléctricos e hidráulicos en pruebas de laboratorio. El módulo está compuesto por tres Tramos de tubería PVC, con diferentes diámetros y accesorios. En primer lugar, se recopila información teórica sobre los parámetros que influyen en el estudio, pérdidas por fricción en tuberías y accesorios. Para la automatización del módulo se utilizó un Controlador Lógico Programable que con la ayuda de los protocolos de comunicación es posible vincular y obtener los parámetros eléctricos medidos por el analizador de energía. Los parámetros hidráulicos son medidos por sensores de caudal y presión los cuales serán visualizados en una pantalla digital en tiempo real. Gracias a un servidor Web es posible exportar una base de datos y comparar la variación de los parámetros de estudio al abrir distintas válvulas del módulo. Finalmente, al momento de realizar ensayos de laboratorio se obtiene mayor consumo de la bomba cuando las válvulas del módulo se encuentran abiertas a 45°, distintos valores en los parámetros eléctricos e hidráulicos dependiendo de los Tramos que se encuentren en funcionamiento, se comparan las pérdidas experimentales por fricción en tuberías y accesorios con resultados teóricos obteniendo el porcentaje de error.

Palabras claves: automatización, eléctricos, hidráulico, fricción, perdidas

ABSTRAC

The faculty of engineering and applied sciences sees the need to automate a hydraulic fluid transport module in order to monitor, measure and visualize the behavior of electrical and hydraulic parameters in laboratory tests. The module is composed of three PVC pipe sections, with different diameters and fittings. First, theoretical information is collected on the parameters that influence the study, friction losses in pipes and fittings. For the automation of the module a Programmable Logic Controller was used, which with the help of communication protocols it is possible to link and obtain the electrical parameters measured by the energy analyzer. The hydraulic parameters are measured by flow and pressure sensors which will be displayed on a digital screen in real time. Thanks to a Web server it is possible to export a database and compare the variation of the study parameters when opening different valves of the module. Finally, when performing laboratory tests, it is obtained higher pump consumption when the module valves are open at 45°, different values in the electrical and hydraulic parameters depending on the sections that are in operation, the experimental friction losses in pipes and fittings are compared with theoretical results obtaining the percentage of error.

Keywords: automation, electrical, hydraulic, friction, losses.

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: Automatización de un módulo de transporte de fluido hidráulico para el laboratorio de ingeniería hidráulica de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en el periodo 2021.

Tipo de Proyecto: Proyecto Tecnológico

Fecha de inicio:

Fecha de finalización:

Lugar de ejecución: Laboratorio de ingeniería eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Facultad que auspicia: Facultad De Ciencias De La Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Carrera de Ingeniería Eléctrica

Proyecto de investigación vinculado: Sistemas de Monitoreo y control

Equipo de Trabajo:

- **Tutor:** Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco

Nacionalidad: Ecuatoriana

N° de cédula: 0503072902

Teléfono: 0984293945

Correo electrónico: carlos.pacheco2902@utc.edu.ec

Coordinadores del proyecto

- Armas Gavilanes Kevin Johannes

Nacionalidad: Ecuatoriana

N° de cédula: 1803233947

Teléfono: 0987518094

Correo electrónico: kevin.armas3947@utc.edu.ec

- Toapanta Jimenez Boris Sebastián

Nacionalidad: Ecuatoriana

N° de cédula: 0503729303

Teléfono: 098344359

Correo electrónico: boris.toapanta9303@utc.edu.ec

Área de Conocimiento:

07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0714 Electrónica y Automatización.

Línea de investigación: Tecnologías de la información y comunicación.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Explotación y diseño de sistemas eléctricos de potencia.

2. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es indispensable para el desarrollo industrial, abastecer las necesidades de una sociedad cada vez más productiva y dependiente del suministro eléctrico.

Para automatizar el módulo es necesario conocer las características técnicas de los sensores industriales, dispositivos de automatización, para obtener parámetros eléctricos e hidráulicos en tiempo real.

Los sistemas hidráulicos son utilizados a nivel industrial, trabajan a gran y pequeña escala como en robótica, vehículos, edificios, equipos de construcción y producción de acero son los principales usuarios de estos equipos. Para el funcionamiento de los equipos hidráulicos es necesaria la participación de fluidos que pueden ser agua o aceites, los cuales permiten transmitir su energía para mover y hacer funcionar mecanismos.

La automatización cumple un papel fundamental en sistemas de bombeo o redes de distribución de fluidos. Es necesario el monitoreo, medición de los parámetros de los fluidos que circulan por el sistema. Al automatizar los dispositivos que lo conforman, como sensores, válvulas, bombas, el sistema trabajará automáticamente y pueden realizar modificaciones en tiempo real para que el sistema trabaje bajo los parámetros de cada industria, reduciendo el margen de error durante los procesos y evitando pérdidas económicas.

Los equipos de automatización brindan varias ventajas, como aumentar la eficiencia y velocidad del trabajo que se lleva a cabo al disminuir la mano de obra. Gracias al desarrollo tecnológico, estos equipos se adaptan a las necesidades de distintos sistemas eléctricos e hidráulicos y son compatibles con la gran variedad de dispositivos y elementos.

Para aprovechar por completo la energía eléctrica es indispensable su monitoreo y medición de parámetros eléctricos.

2.1 EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problemática

La Universidad Técnica de Cotopaxi se caracteriza por formar profesionales competentes, responsables que prestarán sus servicios, conocimientos para el desarrollo de la provincia y del país. La Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas posee laboratorios con módulos que son necesarios para adquirir habilidades y destrezas en los estudiantes.

La automatización de sistemas hidráulicos es necesaria debido a que en la actualidad la tecnología ha disminuido la intervención del ser humano en procesos de precisión o en circunstancias peligrosas. Por lo tanto es importante conocer el funcionamiento de equipos industriales, controladores lógicos programables, siendo indispensable comprender los circuitos eléctricos para su posterior implementación.

Por lo general los módulos carentes de automatización no monitorean parámetros eléctricos en tiempo real, además las mediciones de parámetros hidráulicos como caudal, presión, son erróneas y no identifican pérdidas de fricción en tubería, que afectan en la formación integral de los futuros profesionales.

2.1.2 Formulación del problema

Carencia de un módulo de transporte de fluido hidráulico automatizado, para monitorear, medir y visualizar el comportamiento de los parámetros eléctricos e hidráulicos.

2.3 OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.3.1 Objeto de estudio

Automatización módulo de transporte de fluido hidráulico

2.3.2 Campo de acción

Automatización y comunicación

2.4 BENEFICIARIOS:

2.4.1 Beneficiarios Directos

Docentes y Estudiantes de la Carrera de Ingeniería Hidráulica.

2.4.2 Beneficiarias Indirectos

Docentes y Estudiantes de la Facultad De Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

2.5 JUSTIFICACIÓN

La carrera de Ingeniería Eléctrica que es parte de La Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA), ha visto la necesidad de automatizar el módulo de pruebas de fluido hidráulico, permitiendo a los estudiantes aplicar los conocimientos teóricos impartidos en las aulas de manera experimental, que les permita medir, monitorear y visualizar los parámetros eléctricos para su posterior análisis. El módulo será una herramienta fundamental para la formación de profesionales técnicos que puedan adaptarse en el ámbito profesional industrial.

Este proyecto consiste en la automatización de un módulo para ensayos de laboratorio, posee sistemas de tuberías con distintos diámetros y cuenta con sensores industriales tipo turbina. Estos sensores serán vinculados a un PLC, permitiendo la adquisición del caudal en tiempo real, y pérdidas en tubería por fricción los cuales serán visualizados en una pantalla táctil. Además, cuenta con un analizador de redes que mide constantemente las variables eléctricas para analizar las condiciones de operación actuales del sistema.

2.6 HIPÓTESIS

Mediante la automatización del módulo permitirá a los estudiantes monitorear, medir y visualizar el comportamiento de los parámetros eléctricos e hidráulicos en tiempo real. Realizando pruebas experimentales en cada tramo, con distinto diámetro de tubería y obteniendo resultados en una pantalla.

2.7 OBJETIVOS

2.7.1 General

Automatizar un módulo de transporte de fluido hidráulico, integrando equipos de monitoreo para medir y visualizar el comportamiento de los parámetros eléctricos.

2.7.2 Específicos

- Efectuar la fundamentación teórica sobre parámetros eléctricos e hidráulicos necesarios para la automatización del módulo.
- Programar el Controlador Lógico para la medición y monitoreo de parámetros eléctricos e hidráulicos.
- Realizar ensayos de laboratorio para visualizar en tiempo real los parámetros eléctricos e hidráulicos en distintos tramos de tubería.
- Elaborar un análisis técnico - económico sobre la factibilidad de la propuesta tecnológica.

2.8 SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados de la Actividad	Técnicas, Medios e Instrumentos
Efectuar la fundamentación teórica sobre parámetros eléctricos e hidráulicos necesarios para la automatización del módulo	Indagación mediante fuentes bibliográficas y artículos científicos Redacción de la fundamentación teórica	Información concreta y actualizada para el desarrollo de la fundamentación teórica	Investigación bibliográfica y documental.
Programar el Controlador Lógico para la medición y monitoreo de parámetros eléctricos e hidráulicos	Normalización y escalado de sensores de caudal y presión Comunicación de PLC con HMI mediante IP característica Comunicaron del PLC con el SENTRON PAC mediante protocolo MODBUS TCP	Módulo de transporte de fluido hidráulico automatizado	Software Siemens Tia Portal V15

	Programación en Escalera		
Realizar ensayos de laboratorio para visualizar en tiempo real los parámetros eléctricos e hidráulicos en distintos tramos de tubería.	Realización de prácticas experimentales en cada uno de los tramos del módulo con apertura de válvulas a 45 ° y 90° Cálculo de pérdidas por fricción en tubería y accesorios PVC	Valores de parámetros eléctricos e hidráulicos en tiempo real	Exportación de base de datos obtenida gracias a las mediciones de sensores y SENTRON PAC.
Elaborar un análisis técnico - económico sobre la factibilidad de la propuesta tecnológica.	Cotización de materiales mecánicos y equipos eléctricos Cálculo TIR y VAN	Presupuesto total para la viabilidad de la propuesta tecnológica Factibilidad del proyecto	Mediante facturación y búsqueda en catálogos digitales

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1 ANTECEDENTES

En la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi se encontró un estudio referente al tema, implementación de un módulo didáctico de fluido hidráulico para la visualización y análisis de pérdida por fricción en tuberías en el laboratorio de ingeniería electromecánica de la Universidad Técnica de Cotopaxi periodo 2017. Este trabajo llegó a la conclusión de dar a brindar conocimientos a los estudiantes acerca de los sistemas de fluido donde una bomba eléctrica brindan ganancias y en tuberías, accesorios existen

pérdidas de energía por fricción en cada tramo, pero no contaba con elementos de control y monitoreo para la visualización de parámetros eléctricos e hidráulicos [1].

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo realizó el diseño e implementación de un laboratorio virtual para medir la pérdida de energía en una válvula esférica mediante la adquisición de datos en tiempo real utilizando los softwares LabView y Visual Basic. El tema tratado consiste en diseñar una automatización para la recolección de datos sobre coeficiente de pérdidas de carga[2] .

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo se realizó la tesis sobre la automatización del banco de pérdidas del laboratorio de turbomaquinaria de la facultad de mecánica. El módulo de pruebas posee un sistema de ciclo cerrado el cual transporta agua, es impulsado por una electrobomba periférica, tiene un módulo de recopilación de datos cuyas lecturas son brindadas por dos sensores de presión y uno de caudal tipo turbina, posee una tarjeta de adquisición la cual realiza el cambio de datos físicos a variables manipulables [3].

En el módulo HMI implementado para el monitoreo y almacenamiento y validación de datos en el sistema de pruebas de sellos de motores de bombas electro sumergibles de la planta artificial Lift de la empresa Baker Hughes realizado por los estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional, el mismo es capaz de visualizar el estado de prueba, gráficas de parámetros de estudio y en el caso de producirse errores el módulo HMI automáticamente detendrá el proceso, o el operador según su criterio al observar inconvenientes visualizados en la HMI lo interrumpirá [4].

3.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE HIDRÁULICA

3.2.1. Hidráulica

Se define a la hidráulica como una ciencia de la física encargada de analizar los comportamientos, movimientos, mecanismos y aplicaciones de la ingeniería que requieren de fluidos.

3.2.2. Mecánica de fluidos

La mecánica de fluidos es una rama de la mecánica que estudia el comportamiento del movimiento de los fluidos en hidrostática y en hidrodinámica.

Se divide en dos ramas: la hidrostática se encarga del análisis de los fluidos en reposo y la hidrodinámica estudia los fluidos en movimiento [5].

3.2.3. Fluido

El fluido es aquella sustancia que sufre una deformación continua a medida que se le aplica un esfuerzo cortante muy pequeño, dicho esfuerzo aplica una fuerza tangente a la superficie. Cuando se le aplica un esfuerzo cortante pequeño a un sólido elástico no se deforma continuamente, sino que asume una acción determinada fija [6].

3.3. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS

3.3.1. Densidad

La densidad de un fluido se define como la relación entre la masa por unidad de volumen. Según el sistema internacional su unidad de medida es (kg/m³). La densidad no cambia de un punto a otro para un fluido homogéneo y puede definirse mediante:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

Donde:

ρ = Es la densidad (kg/m³)

V = Volumen (m³)

m = masa (kg)

3.3.2. Peso específico

Se define como el peso por unidad de volumen. Según el sistema internacional su unidad de medida es (N/m³). Para un fluido homogéneo se determina mediante [7]:

$$\gamma = \frac{m * g}{V} = \rho * g \quad (3.2)$$

Donde:

γ = Peso específico (N/m³)

g = Aceleración de la gravedad (m/s²)

ρ = Densidad (kg/m³)

3.3.3. Volumen específico

Se denomina al volumen ocupado por la unidad de masa. Para un fluido homogéneo se define mediante:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (3.3)$$

Donde:

v = Es el volumen específico (m³/kg)

3.3.4. Viscosidad

Es una propiedad de los fluidos que se manifiesta por su resistencia al movimiento del fluido, como resultado de la interacción y cohesión de sus moléculas.

Una de las variables que tiene mayor influencia sobre la viscosidad es la temperatura y sus efectos son distintos tanto en gases y en líquidos [8].

3.3.5. Presión

La presión en un fluido se define como el valor absoluto de la fuerza que ejerce por unidad de superficie. Según el sistema internacional su unidad de medida el Pascal y se determina así [7]:

$$P = \frac{F}{A} \quad (3.4)$$

Donde:

P = Presión (N/m²)

F = Fuerza ejercida sobre el área

A = área del fluido

3.3.5.1. Presión atmosférica

Es el valor que ejerce la presión atmosférica sobre todos los objetos en la tierra, es de (1013 mbar). Debido a que el planeta se encuentra rodeado por una extensa capa de aire con una densidad promedio de 1.23 (kg/m³), cuya fuerza sobre cada metro cuadrado de superficie es cercano a 100 mil Newton [8].

3.3.5.2. Presión manométrica

Se define como la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica. La presión manométrica aparece sólo cuando la presión es superior a la atmosférica, en el caso de que esta cantidad sea negativa se la denomina presión de vacío [9].

3.3.5.3. Presión absoluta

Se refiere por presión absoluta a la superficie resultante de la sumatoria de la presión atmosférica y la manométrica.

$$P_{absoluta} = P_{manométrica} + P_{atmosférica} \quad (3.5)$$

3.3.6. Velocidad de flujo

La velocidad límite es la velocidad máxima que alcanza un cuerpo en movimiento en un fluido dinámico y que se rige por la acción de una fuerza constante.

Dentro de un sistema hidráulico la ecuación de la variable es la siguiente[1]:

$$v = \frac{4Q}{\pi * Di^2} \quad (3.6)$$

Donde:

Q= Caudal (m²/s)

Di= Diámetro interno de la tubería (m)

3.3.7. Caudal

En dinámica de fluidos se define a caudal por el volumen de fluido que atraviesa una sección transversal de un ducto durante un tiempo determinado. Según el sistema internacional su unidad de medida es (m³/s). La ecuación para determinar el caudal es la siguiente [10]:

$$Q = \frac{Vol}{tiempo} = V * Área \quad (3.7)$$

Donde:

V= Velocidad (m/s)

A= Área (m)

3.4. REGÍMENES DE FLUJO

3.4.1. Flujo uniforme

En una sección la velocidad no cambia de un punto a otro, entonces las líneas de corriente del flujo deben ser paralelas y rectas.

$$\frac{dV}{dS} = 0 \quad (3.8)$$

Donde:

V = Velocidad total de un punto dado de una línea de corriente.

S = Distancia a lo largo de una línea de corriente

3.4.2. Flujo no uniforme

En una sección la velocidad cambia de un punto a otro, entonces la secuencia de flujo está compuesta por líneas de corriente que se hacen divergentes y convergentes [8].

3.4.3. Flujo laminar

Cuando las partículas del fluido siguen trayectorias paralelas, formando junto de ellas capas o láminas se denomina flujo laminar.

La velocidad de estas partículas es superior cuando se encuentran más distantes de las paredes del ducto. Tomando distintas distancias de la pared del ducto, la velocidad será constante respecto al tiempo.

3.4.4. Flujo turbulento

El flujo turbulento aparece cuando las partículas de fluido no siguen trayectorias paralelas, entonces se distribuyen en diversas direcciones. No hay manera de conocer la trayectoria de una partícula individualmente.

Mediante el coeficiente adimensional llamado Número de Reynolds (Re), se puede cuantificar numéricamente el tipo de flujo presente en un conducto[9].

3.4.5. Número de Reynolds

Reynolds en sus investigaciones demostró que el régimen de flujo en tuberías, si es laminar o turbulento, depende del diámetro de la tubería, viscosidad de fluido, velocidad de fluido y la densidad. Este valor numérico adimensional está formado por las cuatro variables mencionadas.

Se establece como la relación de las fuerzas dinámicas de la masa del fluido respecto a los esfuerzos de deformación ocasionados por la viscosidad[11].

El número de Reynolds se calcula de la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V * D * \rho}{\mu} = \frac{V * D}{\nu} \quad (3.9)$$

Donde:

Re= Número de Reynolds

V= Velocidad media del flujo (m/s)

D= Diámetro interno de la tubería (m)

μ = Viscosidad cinemática del fluido (m²/s)

Tabla 3.1. Número de Reynolds [11].

Régimen de flujo	Re
Laminar	Re<2.100
Transición	2.100 ≤Re ≤3.000
Turbulento	Re>3.000

3.5. PÉRDIDAS DE CARGA POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS

La pérdida de energía es producida por la fricción del fluido con las paredes del ducto, tubería. Esta pérdida que sigue la dirección del flujo, puede ser despreciable en tramos cortos y resulta mayor en tramos largos.

3.5.1. Ecuación de Darcy-Weisbach

Es el mejor modelo que mejor describe las pérdidas de energía en una tubería. La ecuación 3.10 menciona que las pérdidas son directamente proporcionales a la longitud del conducto, a la altura de velocidad y es inversamente proporcional al diámetro del conducto. La ecuación de Darcy-Weisbach en general se expresa de la siguiente manera [3] .

$$hf = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2g} \quad (3.10)$$

Dónde:

hf = Pérdidas por fricción (m)

f = Coeficiente de fricción

L = Longitud (m)

Di = Diámetro interno del conducto (m).

v = Velocidad media del flujo (m/s).

g = Aceleración de la gravedad (9.806 m/s²)

3.5.2. Factor de fricción (f)

Esta variable depende del número de Reynolds, la rugosidad absoluta y la geometría del conducto, Para condiciones de flujo laminar ($R < 2000$) es función solo del número de Reynolds, mientras que, para condiciones de flujo turbulento ($R > 4000$) esta estará en función de la pared del tipo de tubería [11].

Para determinar el factor de fricción a continuación se utilizan las siguientes ecuaciones.

Para flujo laminar ($0 \leq Re \leq 2320$) en todas las tuberías y para cualquier fluido.

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.11)$$

3.5.3. Diagrama de Moody

El diagrama de Moody son valores experimentales, es un diagrama que se encuentra relacionado el factor de fricción, número de Reynolds y el diámetro del conducto, con curvas experimentales en función de la rugosidad relativa.

En un flujo con número de Reynolds asignado, el factor de fricción aumenta conforme al incremento de la rugosidad relativa ε/D , el factor de fricción decrece con el incremento del número de Reynolds, hasta que llega a la zona de turbulencia completa.

El número de Reynolds no afecta sobre el factor de fricción dentro de la zona de turbulencia completa.

$$f = \frac{0.25}{[\log(\frac{\varepsilon/D}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}})]^2} \quad (3.12)$$

Dónde:

Re = Número de Reynolds

Primer método: Ecuación fundamental ε/D = Rugosidad relativa

g = Aceleración de la gravedad

3.5.4. Ecuación de Blasius

La ecuación de Blasius para el cálculo del factor de fricción, utilizada para flujos turbulentos hidráulicos, el número de Reynolds debe encontrarse en un rango de 5,000 y 100,000 para su cálculo la misma que será utilizada de forma experimental. [12].

$$f_{ex} = \left(\frac{0,316}{Re^{0,25}} \right) \quad (3.13)$$

La ecuación de Swameey Jain permite calcular el factor de fricción teórico

$$f_{teo} = \frac{0,25}{\left(\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad (3.14)$$

3.5.5. Pérdidas de carga por accesorios.

Existen pérdidas de carga producidas en zonas cercanas a cambios de diámetro del conducto o cambios de dirección del flujo. A estas pérdidas también se las denomina pérdidas menores. Este tipo de pérdidas se pueden calcular mediante la ecuación 3.14 [1]:

$$hl = k \left(\frac{v^2}{2g} \right) \quad (3.15)$$

Dónde:

hl = Pérdidas secundarias (m)

v = Velocidad (m/s)

k = Coeficiente de resistencia

g = Gravedad (m/s²)

La ecuación 3.15 muestra el método exacto para determinar el coeficiente de resistencia K en acoplamientos, válvulas.

$$K = f_T \left(\frac{L_e}{D_i} \right) \quad (3.16)$$

Dónde:

L_e = Longitud equivalente.

D_i = Diámetro interior real de la tubería.

f_T = factor de fricción en la tubería.

El porcentaje de error que existe experimentalmente y la teórica se expresa de la siguiente manera:

$$ERROR = \frac{Teórico - Experimental}{Teórico} * 100\% \quad (3.17)$$

En la tabla 3.2 se visualiza la resistencia de algunos accesorios para tuberías

Tabla 3.2. Resistencia de accesorios para tuberías [1].

Accesorios	(Le/Di)
Codo estándar de 90°	30
Codo estándar de 45°	16
Codo curvo 90°	20
Codo en U	50
Te estándar: Con flujo Directo	20
Te estándar: Con flujo en el ramal	60
Te estándar: Con flujo bilateral	65
Unión o Universal	6
Válvula Check	50
Válvula de compuerta: Abierto totalmente	400
Válvula de bola	3

Los valores del factor de fricción se observan en la tabla 3.3, cambian según el tamaño del conducto, lo que hace que el valor del coeficiente de resistencia “K” también cambie.

Tabla 3.3. Factor de fricción en la zona turbulenta completa [1].

Tamaño nominal de la tubería (plg)	Factor de fricción f_T
1/2	0.027

3/4	0.025
1	0.023
1 ¼	0.022
1 ½	0.021
2	0.019
2 ½ -3	0.018
3 ½ -4	0.017
5	0.016

3.6. PARÁMETROS ELÉCTRICOS

3.6.1. Corriente eléctrica

La corriente eléctrica es el desplazamiento continuo de electrones en una superficie en ambas direcciones. Según el sistema internacional su unidad de medida es el Amper (A) y puede definirse de la siguiente manera.

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.18)$$

Donde:

V= Voltaje

R= Resistencia

3.6.1.1. Corriente Directa

Se define como corriente directa a la que se mantiene constante respecto al tiempo como se observa en la figura 3.1.

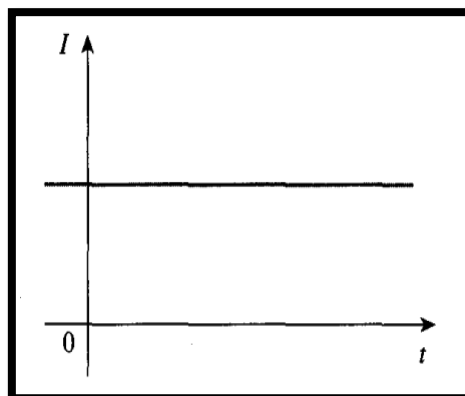


Figura 3.1. Comportamiento corriente directa [13].

3.6.1.2. Corriente Alterna

Se define como corriente alterna a la que cambia sinusoidalmente respecto al tiempo como se observa en la figura 3.2.

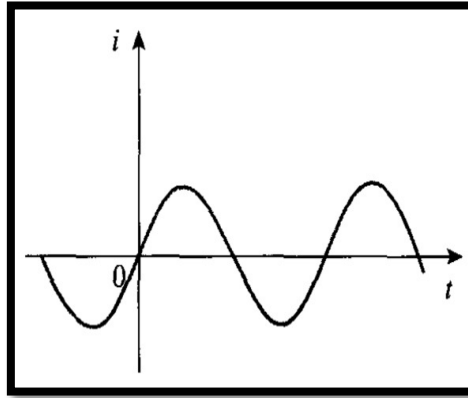


Figura 3.2. Comportamiento corriente alterna [13].

3.6.2. Voltaje

También conocido como diferencia de potencial, el voltaje es la energía necesaria para mover electrones a través de una superficie, su unidad de medida es el (volt) y se representa de la siguiente manera [13]:

$$V = I * R \quad (3.19)$$

3.6.3. Energía y potencia

Se entiende por energía a la capacidad para producir un trabajo y su unidad de medida es el (Joule), mientras que potencia es la razón de cambio a la cual se utiliza la energía y se mide en (watts) [14].

Sus ecuaciones son las siguientes:

$$E = P * t \quad (3.20)$$

$$P = \frac{E}{t} \quad (3.21)$$

Donde:

E= Energía

P= Potencia

t= Tiempo

3.6.4. Potencia activa (P)

Se denomina potencia activa a la que es capaz de generar un trabajo (potencia útil). Esta puede ser calculada de la siguiente manera:

$$P = V * I * \cos\theta \quad (3.22)$$

3.6.5. Potencia reactiva (Q)

Esta potencia es necesaria para la generación de campos eléctricos - magnéticos en elementos capacitivos e inductivos, ya que oscila entre la fuente y la carga no produce trabajo útil, se mide en (VAR). Esta puede ser calculada de la siguiente manera.

$$Q = V * I * \sen\theta \quad (3.23)$$

3.6.6. Potencia aparente (S)

Es la suma fasorial de todas las potencias (potencia activa, reactiva y de distorsión) que intervienen en una carga eléctrica, se mide en (VA.). Se la puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3.24)$$

3.6.7. Factor de potencia (fp)

Muestra el desempeño de qué tan eficaz es una carga eléctrica aprovechando la energía eléctrica suministrada. El factor de potencia es expresado mediante la ecuación [15]:

$$fp = \frac{P}{S} \quad (3.25)$$

3.6.8. Frecuencia eléctrica

Es una característica fundamental de la corriente alterna, es sinusoidal y se repite cíclicamente en un número determinado de veces durante un tiempo determinado. Según el Sistema Internacional su unidad de medida es el Hertz [16].

$$frecuencia = \frac{Numero\ de\ ciclos}{Tiempo\ transcurrido} \quad (3.25)$$

3.7. AUTOMATIZACIÓN

Se define como la utilización de elementos o sistemas computarizados para controlar maquinarias y procesos industriales supliendo la mano de obra. La automatización se denomina

como una disciplina de la ingeniería que abarca la instrumentación industrial los sistema de control, transmisores de campo, sensores y los sistema de transmisión y recolección de datos estas operaciones se las puede llevar a cabo mediante programadores lógicos [17].

3.7.1. Automatización Eléctrica

El automatismo eléctrico es capaz de gobernar motores, bombas en función de mando dentro de la misma máquina además en el avance tecnológico ha permitido implementar los sistemas digitales que han desembocado en el ordenador y naturalmente en el auto programable [18].

3.7.2. Sistemas de Control

Un sistema de control se define como un proceso el cual está compuesto por un conjunto de elementos vinculados entre sí que brindan señales de salida en función de señales de entrada. Para conocer el proceso que realiza el sistema hay que conocer la dependencia que existe entre las entradas de salida y las de entrada como se observa en la figura 3.3 [19].

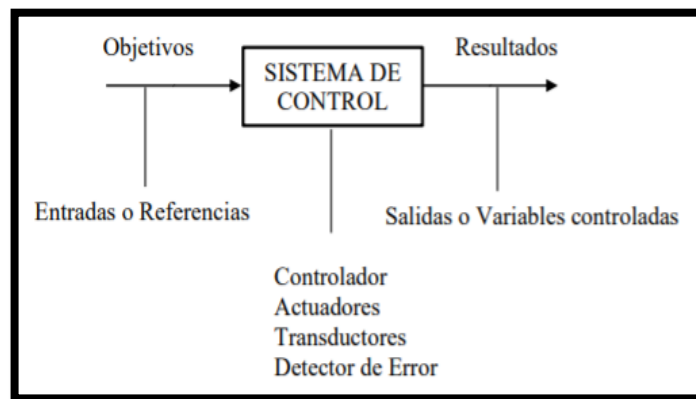


Figura 3.3. Diagrama de un sistema de Control [19].

3.7.3. Variables del sistema de control.

Las variables de un sistema son todos aquellos parámetros monitoreados, los mismos definen procedimiento de un sistema como el caso, del caudal, presión, voltaje, corriente , potencia activa , reactiva , aparente de esta manera se define las señales como:

- Señal de Entrada: es aquella señal de orden que ingresa al sistema control con el fin de obtener una respuesta.
- Perturbaciones: aquellas señales que interfieren en el control del sistema por ejemplo ruidos los cuales generan mediciones erróneas.
- Controladores: es aquel que administra la salida en función de una señal de excitación

- Planta: proceso el cual es controlado para una función establecida.
- Sensores: aquellos que realizan mediciones de los distintos parámetros en el sistema.
- Señal de Salida: Es la respuesta o señal de salida generada del sistema de control [20].

3.7.4. Sistema Lazo Abierto

En los sistemas de lazo abierto la salida no tiene ningún efecto sobre la señal de entrada, por ello cada entrada le pertenece a una acción establecida sobre la señal de salida. La exactitud del sistema dependerá de la calibración de sus elementos, cuando existan señales de perturbación no cumplirá con la función designada se observa el diagrama de bloques en la figura 3.4.

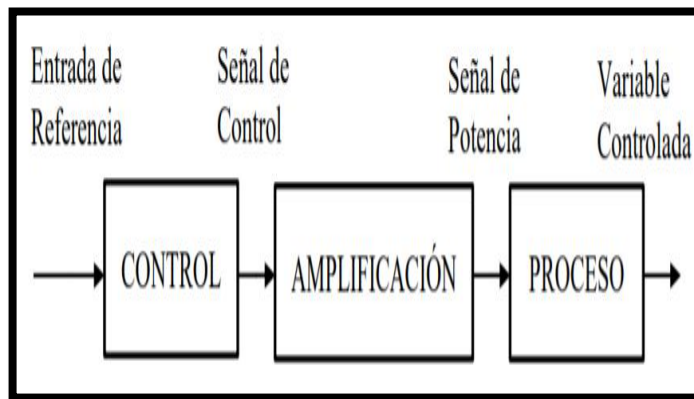


Figura 3.4. Diagrama de bloques de un sistema en lazo abierto [19].

Se considera un sistema en lazo abierto al conocer la relación que tiene la entrada con la salida, donde no exista la presencia de perturbaciones externas o al interior de los parámetros del sistema.

3.7.5. Sistema Lazo Cerrado

En un sistema de lazo cerrado la señal de salida debe realimentarse y compararse con la entrada, mediante una señal el sistema compara la señal de entrada con la señal de salida corrigiendo el error que pueda existir en el sistema.

La principal ventaja de los sistemas de lazo cerrado es la existencia de retroalimentación la cual permite que su sensibilidad ante perturbaciones externas sea menor al igual que al interior de sus parámetros se visualiza el diagrama de bloques en la figura 3.5 [19].

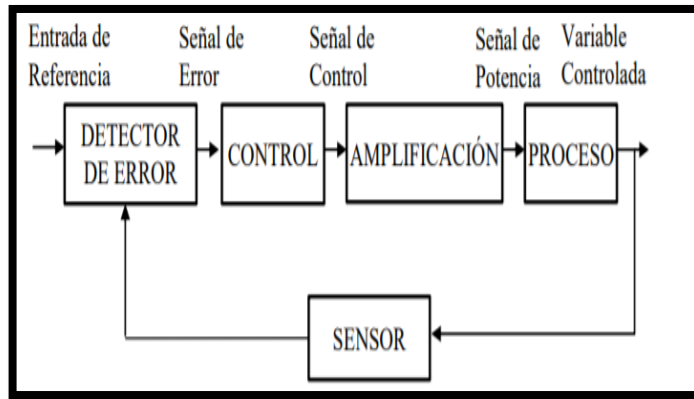


Figura 3.5. Diagrama de bloques de un sistema en lazo cerrado [19].

3.7.6. Tipos de Sistemas de Control

3.7.6.1. Sistema Manual

En el sistema manual el ser humano interviene como fuente de energía al controlar, ejecutar y vigilar el proceso de su actividad se observa el diagrama en la figura 3.6.

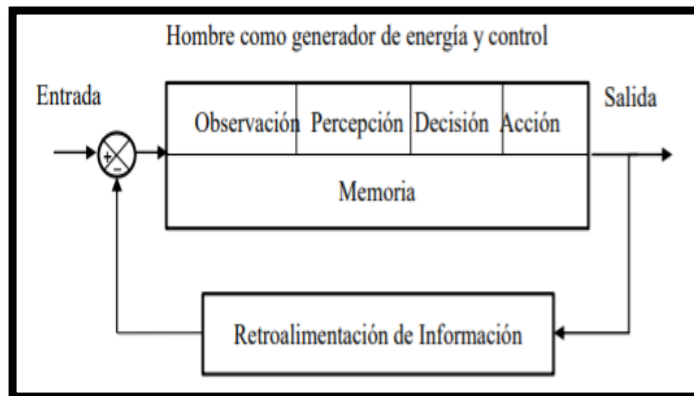


Figura 3.6. Diagrama de bloques de un sistema manual [19].

3.7.6.2. Sistema Semiautomático

El sistema semiautomático conocido como mecánico, la operación motora es ejecutada por componentes eléctricos o mecánicos mientras que el hombre observa y controla su actividad se observa el diagrama en la figura 3.7.

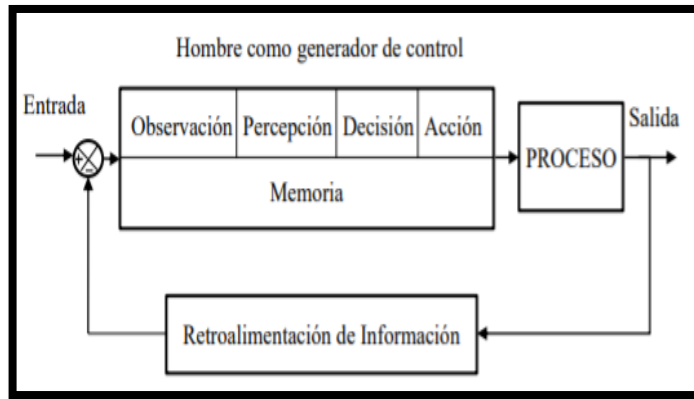


Figura 3.7. Diagrama de bloques de un sistema semiautomático [19]

3.7.6.3. Sistema Automático

En el sistema automático el ser humano es quien visualiza y monitorea los instrumentos del sistema, en tanto que la forma de controlar es ejecutada por el sistema como se observa en el diagrama en la figura 3.8.

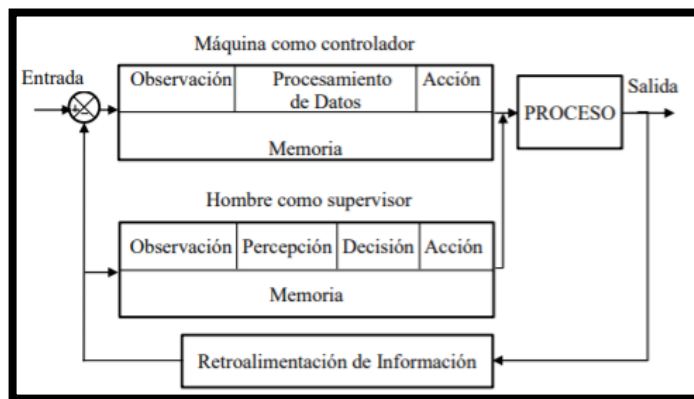


Figura 3.8. Diagrama de bloques de un sistema automático [19].

3.8. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES (PLC)

Los PLC aparecen en los años 60, con el propósito de reemplazar la automatización industrial por medio de relés y contactores con el fin de reducir los gastos en su implementación. Un controlador lógico programable es una computadora cuyo software y hardware ha sido diseñado, para mejorar el control de procesos industriales.

En un PLC el microprocesador es quien ejecuta el programa diseñado el cual realiza las operaciones designadas por el usuario. El PLC recibe señales analógicas y digitales y además de la misma manera posee salidas o analógicas digitales, estas intercambian información con

distintos sensores y actuadores que permiten realizar una acción específica como se observa en la figura 3.9 [21].

3.8.1. Elementos de un PLC

3.8.1.1. Fuente de alimentación

Es aquella que suministra energía a los circuitos internos del PLC los cuales están distribuidos en tres bloques con su respectiva alimentación: +24v alimenta los canales de lazo de corriente de 20, +5.2v alimenta el programador y +5v alimenta las tarjetas.

3.8.1.2. Módulo de memoria

Un PLC se caracteriza por estar conformado de dos memorias una memoria de operación no volátil (ROM) está registra funciones como el software para la programación del PLC y memoria de usuario que puede ser volátil (RAM) la cual almacena señales de entrada y salida.

3.8.1.3. Unidad Central de Proceso CPU

Es el elemento principal en un PLC ya que controla la ejecución, comunicación e interacción con los diferentes componentes del sistema del programa, además ejecuta tareas como operaciones aritméticas y lógicas [21].

3.8.1.4. Sección de Entrada

Recibe las señales de los elementos que intervienen en el proceso de control, este módulo además es el encargado de protegerla CPU y convierte las señales analógicas a digitales.

3.8.1.5. Sección de Salida

Se encarga de suministrar conexión a los actuadores. Estos módulos están dispuestos para operar voltajes DC o AC, admitiendo señales de salida analógica o digital [22].



Figura 3.9. PLC SIEMENS S7-1200 [21].

3.9. PANTALLAS HMI

Es el sistema encargado de proyectar los datos de un proceso, mediante el cual el operador es capaz de monitorear las acciones a ejecutarse. A las pantallas HMI logramos definir las como una interfaz de un proceso. Esta ventana se enlaza a dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador. Interacción Hombre-Máquina (IHM) o Interacción Hombre-ordenador están en la capacidad de lograr, la implementación, el diseño, y la evaluación de sistemas de intercambio computacional para el uso humano como se observa en la figura 3.10 [23].

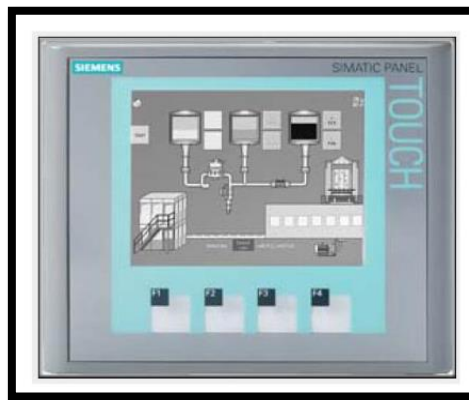


Figura 3.10. HMI KTP400 Basic Mono PN [23].

3.9.1. Aplicaciones generales de las HMI

Las aplicaciones de las HMI son utilizadas para recreación, aplicaciones industriales y espaciales. La cualidad más importante de las HMI es la interacción entre el usuario, máquina y el proceso que realiza como se observa en la figura 3.11 [4].



Figura 3.11. Interfaces Hombre Máquina –HMI [4].

3.10. ANALIZADOR DE CALIDAD DE ENERGÍA

Es un dispositivo electrónico que permite efectuar mediciones de parámetros eléctricos en sistemas con alimentación monofásica, bifásica y trifásica, admite llevar un registro de las variables medidas con el fin de obtener historiales eléctricos como se observa en la figura 3.12 [4].



Figura 3.12. SENTRON PAC 4200 [4].

3.11. INTRODUCCIÓN AL PROTOCOLO MODBUS

El objetivo del Modbus es transmitir información entre varios dispositivos electrónicos, denominados equipos esclavos, conectados a un mismo bus conocido como Master.

Publicado en 1979 por Modicon, consiste en un protocolo de comunicación serial. El Modbus está encaminado únicamente al mundo de los PLCs de Modicon. En la actualidad este protocolo de comunicación es el más utilizado en el campo industrial, monitoreo y sistemas de telecontrol.

En sus inicios estaba orientado a una conectividad a través de líneas serie como RS-232 o RS-485, pero con el transcurrir del tiempo aparecieron variantes como el Modbus TCP/IP.

Su implementación es sencilla y el tiempo de desarrollo disminuye considerablemente en comparación a otros protocolos donde se complica la estructura de las tramas, entonces no permite el acceso a datos no almacenados en estructuras complejas se observa en la figura 3.13 [24].

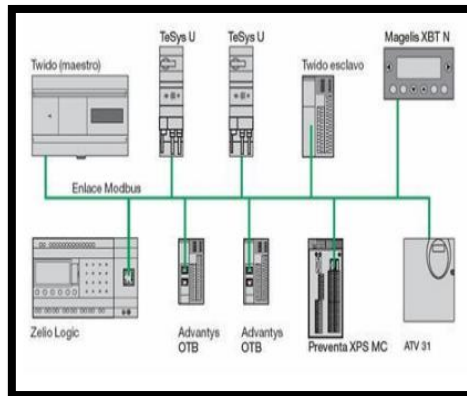


Figura 3.13. Protocolo Modbus [24].

3.11.1. Comunicación en MODBUS maestro-esclavo

El maestro controla en todo momento el inicio de la comunicación con los otros dispositivos denominados esclavos se visualiza en la figura 3.14, según especificaciones pueden ser hasta 247 en la misma red. Mientras que, la función del esclavo es retornar los datos solicitados por el maestro.

Cada esclavo tiene una dirección exclusiva para de esta manera el maestro sepa con quien se debe comunicar. En la imagen # se visualiza cómo funciona la comunicación maestro-esclavo.



Figura 3.14. Arquitectura Modbus [24].

3.11.2. Tipos de MODBUS

Al intercambiar mensajes, información, los dispositivos de una red Modbus organizan los datos en tramas. Se distinguen tres tipos de Modbus en función de la arquitectura de los protocolos usados, estos son: RTU, ASCII y TCP/IP.

3.11.3. MODBUS TCP

Está desarrollado para trabajar sobre redes que manejan la arquitectura TCP/IP, por lo que aprueba usar Modbus sobre redes WIFI o Ethernet.

Su técnica consiste en encapsular cada mensaje Modbus en una trama TCP, pero sin tomar en cuenta la dirección de esclavo ni los dos bytes del campo de comprobación de errores.

El límite que existía en el modo RTU con un máximo de 247 dispositivos es superado de manera abrumadora por el TCP/IP, aumentando la posibilidad de conectar más dispositivos eléctricos a la red [24].

3.11.4. PROFIBUS (Process Field Bus)

Es una red universal elaborada para la automatización industrial, permitiendo la comunicación de los dispositivos electrónicos independiente de quien los haya fabricado. Trabaja de manera maestro – esclavo y el número máximo de elementos participantes es de 126.

Su comunicación se realiza mediante un cable de fibra óptica con una longitud máxima de 100km o por un par trenzado tipo apantallado cuya longitud máxima es de 10km. Mientras que la topología de la red puede ser en anillo, árbol, lineal o estrella.

Los diferentes tipos de Profibus son DP, FMS y PA, siendo el más utilizado el DP para aplicaciones de entradas y salidas distribuidas [25].

3.11.5. Protocolo PROFIBUS DP

Su interconexión se realiza mediante cables bifilares o de fibra óptica y se pueden alcanzar velocidades de transferencia de datos entre 9,6 Kbits/s a 12 Mbits/s. Es una red de comunicación con proceso maestro-esclavo y de acceso híbrido token bus.

Su red puede interconectar de manera inalámbrica varios controladores, componentes en manera de red óptica, eléctrica o 16 mediante links se observa en la figura 3.15.

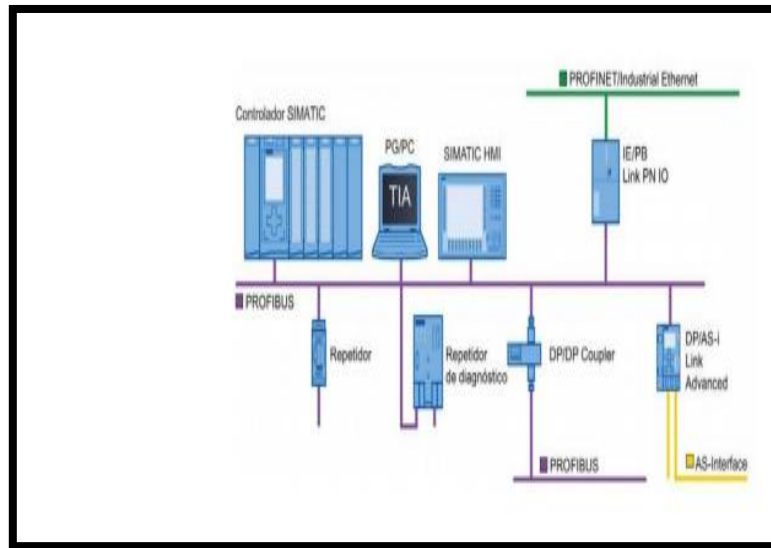


Figura 3.15. Conexión con Profibus DP[25].

El Profibus se conecta por controladores digitales desde el nivel de campo hasta el de control, especificando las funciones, características y técnicas de un sistema establecido en un bus de campo distinguiendo los tipos de dispositivos maestros y esclavos se observa en la figura 3.16.

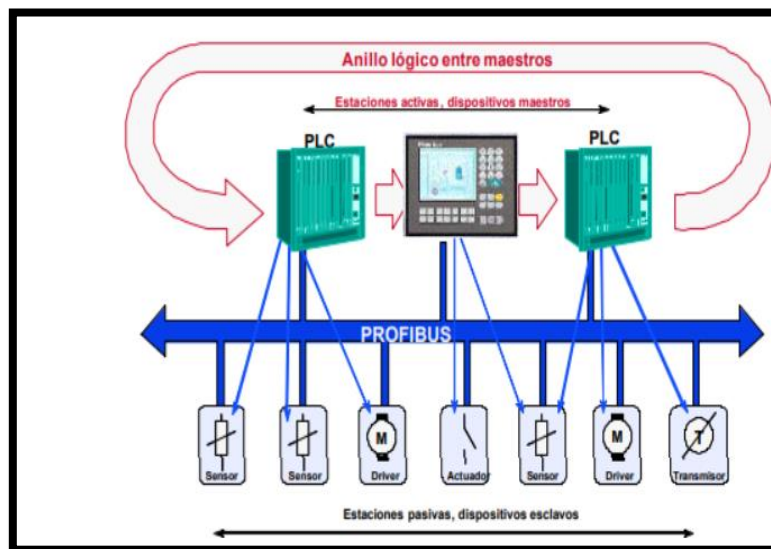


Figura 3.16. Esquema de comunicaciones existentes en una red Profibus [25].

Nota. Usando Profibus entre estaciones la figura representa un anillo lógico entre maestros

3.11.6. Ventajas del protocolo de comunicación PROFIBUS DP

- Programas comprensibles y pequeños
- Reducción de los tiempos de reacción
- Sistemas de automatización distribuidos mediante procesamiento paralelo

- De algunas partes de la instalación es posibles la puesta en marcha independiente o simultánea
- Pueden asumir funciones de diagnóstico y registro las estructuras de nivel superior
- La disponibilidad de la instalación aumenta, por ejemplo, si falla una estación subordinada puede seguir trabajando el resto del sistema [25].

3.12. SENSOR DE CAUDAL

Es un instrumento utilizado para realizar mediciones de caudal de un fluido. Este instrumento se instala en la tubería que transporta el fluido. Suelen llamarse medidores de caudal, o flujómetros [26].

3.12.1. Tipos de sensores de Caudal

3.12.1.1. Mecánicos visuales

Es un cono transparente invertido, que posee unas marcas que indican el caudal. Consta de una esfera plástica en su base. Cuando circula el fluido impulsa la esfera hacia la parte superior entonces, mientras exista mayor caudal la esfera sube más como se observa en la figura 3.17 [27].



Figura 3.17. Rotámetro [27].

3.12.1.2. Electrónicos de molino

Consiste en un molino con aspas transversales a la circulación de flujo; el molino posee en un extremo un imán permanente. Su sistema de funcionamiento trabaja al girar este imán generando un campo magnético variable, que a continuación es leído por un sensor que funciona con un campo magnético, finalmente el circuito electrónico lo transforma en pulsos que transfieren a través de un cable como se observa en la figura 3.18.

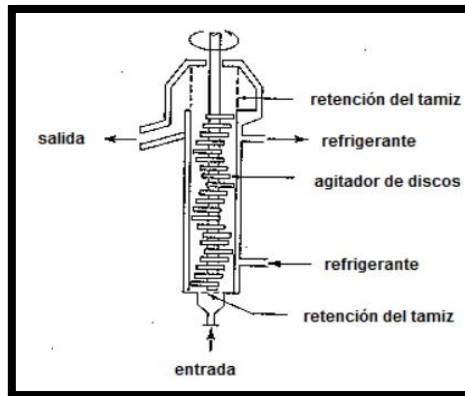


Figura 3.18. Caudalímetro electrónico de molino [27].

3.12.1.3. Electrónicos de turbina

Consiste en una turbina situada de frente al flujo, ubicada en las paredes de un tubo, su rotación es proporcionalmente al caudal. La turbina es de resina y polvo de alnico. Este giro genera un campo magnético que a su vez es leído y recopilado por un sensor de campo magnético como se observa en la figura 3.19 [27].



Figura 3.19. Caudalímetro electrónico de turbina [28].

3.13. SENSORES DE PRESIÓN

Son elementos que convierten la presión o fuerza en una magnitud eléctrica, utilizados en los equipos de automatización o adquisición de datos se observa en la figura 3.20.

Existen de tipo electromecánico, sus partes son:

Elemento mecánico elástico: Es un elemento elástico el cual cambia la resistencia de un potenciómetro en función de la presión. Consiste en un tubo Bourdon, espiral, diafragma, hélice, fuelle o una combinación de los mismos.

Transductor eléctrico: Su señal de salida es potente como para suministrar una corriente de salida apta para el funcionamiento de los elementos de indicación sin necesidad de amplificación [1].



Figura 3.20. Sensor de presión [1].

3.14. BOMBA HIDRÁULICA

Se define como una máquina generadora la cual opera mediante fluido en la que se origina una transformación de energía mecánica en hidráulica. La principal función de una bomba es transferir energía a un fluido para lograr su transporte en un sistema. Generalmente a la salida de la bomba existirá un incremento de presión [29].

3.14.1. Bomba Periférica

La bomba periférica es de tipo rotodinámica diseñada para abastecer pequeños caudales, a una gran presión. Una bomba periférica es una bomba centrífuga que transforma la cantidad de momento en energía cinética repartida al fluido. Su funcionamiento comprende al introducir el fluido, este es captado por el impulsor creando un movimiento en espiral, de esta manera el fluido que es introducido recircula entre cada uno de los álabes creando una aceleración. Luego el fluido sigue al siguiente alabe donde se le aumenta más energía como se observa en la figura 3.21 [30].



Figura 3.21. Bomba periférica 3.10. [29].

3.14.2. Ventajas de bombas periféricas

Las bombas periféricas brindan diversas ventajas al compararlas con las bombas centrífugas al operar en alta cabeza a un bajo nivel de caudal a una gran presión.

Entregan una altura superior que las bombas centrífugas para su funcionamiento en un diámetro igual de impulsor.

- Su rendimiento es mucho mayor. Lo cual disminuye su costo de operación.
- Son bombas de canal lateral o denominadas regenerativas, las cuales pueden maniobrar fluidos a temperatura de ebullición.
- Su valor monetario es menor que las bombas centrífugas.
- Su flujo es suave y constante lo cual le permite llegar a alturas de 170 m. en una etapa [1].

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES MECÁNICOS

Se analiza cada ramificación de tubería por separado siguiendo su propio recorrido y detallando sus accesorios.

4.1.1. Accesorios Tramo 1

El Tramo principal es de 1", la cual deriva a la ramificación 1 la cual está compuesta por tubería PVC de 1/2" como se observa en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Accesorios Tramo1

Descripción	Cantidad
Bushing Polimex de 1" a 1/2"	2
Universal Polimex 1/2"	4
Tubo PVC de 1/2" x 6 metros	1
Válvula PVC de 1/2" de diámetro	1
Neplo Polimex 1" x 4"	5
Codo HH 90°	1

4.1.2. Accesorios Tramo 2

Toda su trayectoria está compuesta por tubería PVC de 1" como se observa en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Accesorios Tramo 2

Descripción	Cantidad
Neplo Polimex 1" x 4"	7
Válvula PVC de 1" de diámetro	1
Codo Polimex de 1" x 90°	4
Cruz Polimex de 1"	1
Universal Polimex 1"	4
Tee Polimex 1"	1
Neplo Polimex corrido 1"	2
Tubo de PVC 1" x 3 metros	1

4.1.3. Accesorios Tramo 3

Toda su trayectoria está compuesta por tubería PVC de 1-1/2" como se observa en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Accesorios Tramo 3

Descripción	Cantidad
Universal Polimex 1-1/2"	5
Bushing Polimex de 1-1/2" a 1"	2
Neplo Polimex corrido 1-1/2"	4
Válvula PVC de 1-1/2" de diámetro	3
Codo Polimex de 1-1/2" x 90°	4
Codo Polimex de 1-1/2" x 45°	2
Neplo Polimex 1-1/2" x 4"	6
Tee Polimex 1-1/2"	2
Tubo de 1 1/2" x 3 metros	1

4.2 COMPONENTES DEL SISTEMA DE CONTROL

Al automatizar el módulo se obtiene los parámetros eléctricos que son visualizados en una pantalla digital y en un SENTRON PAC que muestra el consumo de la bomba, corriente, voltaje, frecuencia, y potencias Activa, Reactiva, Aparente, además del caudal del agua con la ayuda de los siguientes componentes:

- PLC SIEMENS S7-1200
- SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas
- Panel KTP400 Basic
- Caudalímetro SUP-LWGY
- SENTRON PAC 4200

4.2.1 PLC SIEMENS S7-1200

Este modelo es el más pequeños de la gama SIMATIC de SIEMENS para sistemas de automatización que se realiza con funciones lógicas simples o avanzadas, redes y HMI .Estos son capaces de realizar tareas potentes de control gracias a sus avanzadas funciones se muestra en la figura 4.1 el PLC SIEMENS S7-1200 [31].



Figura 4.1. PLC SIEMENS S7-1200 [31].

4.2.1.1 Características del PLC SIEMENS S7-1200

El PLC está conformado por un CPU el cual posee un microprocesador, una fuente de alimentación, circuitos de entrada y salida en un armazón compacto. Cuando se haya programado el CPU, este es capaz de monitorear y controlar los dispositivos de la aplicación según el proceso requerido. El CPU incluye lógica booleana, funciones matemáticas complejas, y comunicación con otros dispositivos inteligentes. Este es capaz de realizar funciones de seguridad que resguardan el sistema de control y el CPU " como se observa en la figura 4.2 [32].

Componentes:

- Conector de corriente.
- Ranura para Memory Card.
- Conectores extraíbles para el cableado de usuario LEDs de estado para las E/S integradas.
- Conector PROFINET.

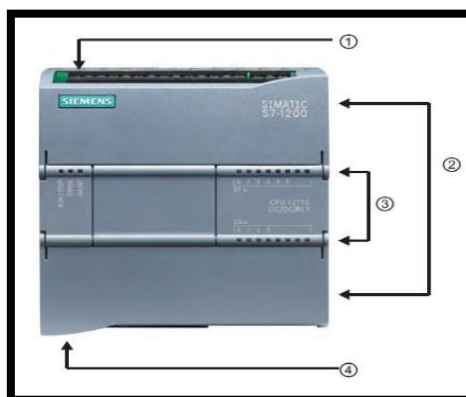


Figura 4.2. Componente PLC SIEMENS S7-1200 [32].

4.2.2 SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas SM 1231

Este módulo está diseñado con 4 entradas analógicas con una resolución de 13 bits los cuales se conectan con los sensores de caudal realizando la medición en los distintos tramos del módulo hidráulico diseñado como se observa en la figura 4.3.



Figura 4.3. SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas SM 1231[33].

4.2.2.1 Características SIMATIC S7-1200 SM 1231

Las características del SIMATIC S7-1200 SM 1231 se visualizan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Características Técnicas [33].

Descripción	Cantidad
Tensión de alimentación	24 V DC
Intensidad de entrada	45 mA
De bus de fondo 5 V DC	80 mA
Pérdidas	1,5 W
Nº de entradas analógicas	4; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión
Tensión de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción), Máx.	± 35 V
Tensión de entrada admisible para entrada de tensión (límite de destrucción), Máx.	35 V
Intensidad de entrada admisible para entrada de intensidad (límite de destrucción). Máx	40 mA
Intensidad de entrada admisible para entrada de corriente (límite de destrucción). Máx	40 mA

4.2.3 Panel KTP400 Basic

Es una pantalla digital táctil de 4,3 pulgadas de interfaz con botones agregados y corresponde al nuevo grupo de iniciación HMI de Siemens para aplicaciones sencillas. Estos paneles son ideales para los sistemas de control S7 ,se muestra en la figura 4.4 [23].

4.2.3.1 Características Panel KTP400 Basic mono

- Ampliación del sistema: es capaz de incrementar y reemplazar elementos que intervienen en los procesos.
- Hardware estándar: Nos ayuda a monitorear distintas aplicaciones según el diseño del operador.
- Posibilidad de modificaciones futuras sin para el proceso; mediante el software se puede modificar las condiciones de trabajo para la obtención del proceso deseado.
- Tiempo de instalación: es muy corto.
- Mantenimiento: es muy sencillo ya que se lo efectúa mediante el programa que fue anticipadamente cargado en el proceso del cual se está realizando el control.
- Gestión de datos y archivos: es capaz de procesar datos y almacenarlos, teniendo acceso a dicha información desde distintos dispositivos.
- Interfaz gráfica: Proyecta las funciones y datos al operador para el monitoreo del proceso designado [23].

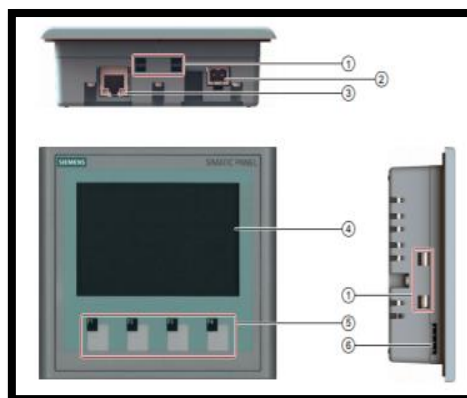


Figura 4.4. Componentes del KTP400 Basic [34].

4.2.4 Sensor de Caudal SUP-LWGY

Este sensor de flujo tipo turbina, es un instrumento de velocidad que tiene las ventajas como: estructura simple, soporta alta precisión, tiene pequeñas pérdidas de presión y su mantenimiento es conveniente. Se caracteriza por medir el flujo volumétrico de fluido de baja viscosidad en tuberías cerradas ,como se visualiza en la figura [35].



Figura 4.5. Sensor de Caudal SUP-LWGY [35].

4.2.4.1 Características del Sensor de Caudal SUP-LWGY

Se visualizan las características del Sensor de Caudal UP-LWGY en la figura 4.5.

Tabla 4.5. Características SUP-LWG [35].

Tecnología	De turbina
Fluido	Para líquido
Diámetro de Tubo	DN15 - 1/2" DN25 - 1" DN40 - 1"1/2"
Montaje	Roscado
Comunicación	4-20mA
Voltaje	12 V CC , 24 V CC
Tipo de Protección	IP65
Otras características	De alta presión
Presión de proceso	10 bar ,16bar,25bar,40bar

4.2.5 Sensor de presión HK3022

Está siendo utilizado el sensor para obtener los datos de presión en cada tramo de tubería en el módulo hidráulico. El sensor de presión protege al módulo, en caso de estar cerradas todas sus válvulas y la presión llega a 40 psi, el sensor apaga a la bomba evitando accidentes al momento de realizar prácticas de laboratorio se observa en la figura 4.6



Figura 4.6. Sensor de presión HK3022 [1]

4.2.5.1 Características del Sensor de presión HK3022

Se visualizan las características del Sensor de presión HK3022 en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Características Sensor de presión HK3022 [1].

Voltaje de funcionamiento:	5 V CC
Voltaje de salida	0,5-4,5 VCC
Material del sensor	aleación de acero al carbono
Corriente de trabajo	≤ 10 mA
Rango de presiones	0-1,2 MPa
Presión destruir	3,0 MPa
Trabajando TEMP. Rango	0-85 grados
La medición de error:	$\pm 1,5\%$ FSO
Error Rango de temperatura:	$\pm 3,5\%$ FSO
Tiempo de respuesta	$\leq 2,0$ ms

4.2.6 Dispositivo analizador de energía SENTRON PAC 4200

Fue diseñado para realizar mediciones de un extenso número de magnitudes eléctricas, como frecuencias, potencias, corrientes y voltajes.

El SENTRON PAC 4200 simplifica la medición de parámetros eléctricos, y muestran las magnitudes de forma ordenada y concreta lo que simplifica la operación del proceso realizado se observa en la figura 4.7 [4].

4.2.6.1 Características principales del dispositivo SENTRON PAC 4200

- En sistemas trifásicos trabaja con voltaje de entrada hasta 690 VAC, en el caso de trabajos con voltajes más elevados es necesario la instalación de transformadores de tensión.
- Las entradas de corriente están establecidas a relación de 1 a 5 amperios.
- Realiza mediciones de valores mínimos, máximos y promedio, de parámetros eléctricos como: voltajes fase - neutro, fase - fase, corriente fase – neutro y factor de potencia.
- Ejecuta mediciones en tiempo real de valores RMS de voltaje y corriente con una exactitud no mayor del 2%.
- Es capaz de registrar magnitudes eléctricas por un tiempo máximo de 40 días y puede usar memoria de distintos dispositivos siemens.
- Los datos registrados muestran nombre, fecha y hora. Además, se puede modificar el nombre del registro guardado con otro software [4].

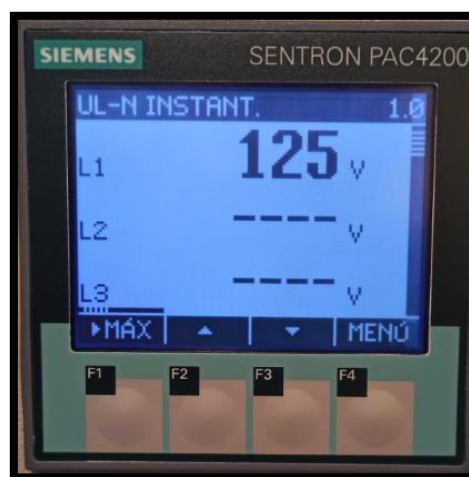


Figura 4.7. Funcionamiento SENTRON PAC 4200

Este dispositivo es capaz de medir varios parámetros eléctricos, pero debido a las características del proyecto se necesita medir corrientes, voltajes y potencias de la bomba [4].

4.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN

4.3.1 Contactor MC-9b

Este dispositivo tiene accionamiento electromagnético y tiene un contacto de fuerza, otro de maniobra y cuenta con una bobina para un enclavamiento. Sobre los contactos de fuerza se puede decir que resisten altas intensidades de corriente y los contactos de maniobra son utilizados para mando, como se visualiza en la figura 4.8. La función del contactor es comunicar las señales finales del circuito de mando al circuito principal [36].



Figura 4.8. Contactor MC-9b [37].

4.3.1.1 Características Contactor MC-9b

Se visualizan las características del Contactor MC-9b en la figura 4.7.

Tabla 4.7. Características Contactor MC-9b [37].

Calificación de AMP	9 amperios AC-3 25 amperios AC-1
Voltaje de la bobina	Bobina de 120 voltios CA
Caballo de fuerza	5 HP a 460 voltio 3 HP a 230 voltio
Montaje	Montaje en riel DIN o base

4.3.2 Relé Térmico METASOL MT-32

Es aquel dispositivo cuya función es la de un interruptor que al ser accionado permite abrir o cerrar uno o varios contactos de circuitos independientes, es controlado por un circuito eléctrico y este relé puede ser electrónico o electromagnético, se muestra en la figura 4.9 [38].



Figura 4.9. Relé Térmico METASOL MT-32 [39].

4.3.2.1 Características Relé Térmico METASOL MT-32

Las características del Relé Térmico METASOL MT-32 se muestran en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Características Relé Térmico METASOL MT-32 [39].

Contacto independiente	1NA+1NC
Tensión de servicio	690 Vca
Temperatura ambiente	5°C + 40°C
Reposición	manual y automática
Instalación	Montaje con clip en contactor MT32 y fijación con tornillos

4.3.3 Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm

Brinda una adecuada protección al equipo contra sobretensiones que pueden ocurrir en la red eléctrica, protección para los operarios y los dispositivos eléctricos instalados en los módulos, se visualiza en la figura 4.10 [40].



Figura 4.10. Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm [41].

4.3.3.1 Características Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm

Se visualizan las Características del Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm [41].

Dimensiones	10X38 mm
Corriente	10 A
Voltaje	500Vac
Voltaje	250Vdc
Clase	Gg
Material	Cerámico
Ac de poder de corte	120kA
Dc de poder de corte	15kA
Construido según las normas	IEC60269-1, EN60269-1.

4.3.4 Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A Curva C 6 Ka

Son aquellos dispositivos cuya función es abrir y cerrar la corriente nominal en un circuito eléctrico, de los módulos que necesitan valores de corriente y voltaje con especificaciones requeridas de los equipos instalados, como se observa en la figura 4.11 [40].



Figura 4.11 Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A [42].

4.3.4.1 Características Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A

Se muestran las características Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A en la tabla 4.10.

Tabla 4.10. Breaker Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A[42].

Aplicación del dispositivo	Distribución
Gama	Acti 9
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Número de polos	1P
Clase	gG
Corriente nominal (In)	10 A
Tipo de red	DC –CA
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	C

4.3.5. Switch DES-1005A

Se encargan de tomar las disposiciones de envío establecidas en las direcciones MAC dentro de las tramas de datos transferidas. Estos asimilan las direcciones MAC de los elementos conectados a cada puerto. Luego esta información se genera dentro de la tabla de conmutación CAM, como se observa en la figura 4.12 [43].



Figura 4.12. Switch DES-1005A [44] .

4.3.5.1. Características Switch DES-1005A

Se muestran las características del Switch DES-1005A en la tabla 4.11.

Tabla 4.11. Características Switch DES-1005A [44].

Interfaces de dispositivos	Cinco puertos LAN de 10/100 Mbps
Estándares	IEEE 802.3 10BASE-T IEEE 802.3u 100BASE-TX
Capacidad de conmutación	Tejido de conmutación de 1 Gbps
Características avanzadas	Cruce automático MDI / MDIX para todos los puertos Esquema de conmutación seguro de almacenamiento y reenvío
Tasas de transferencia de datos	Ethernet: 10 Mbps (half duplex) 20 Mbps (full duplex) Fast Ethernet: 100 Mbps (half duplex) 200 Mbps (full dúplex)
Método de transmisión	almacenamiento y reenvío
Tamaño de la tabla de direcciones MAC	2.000

4.3.6. Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22mm

La función de estos dispositivos es informar de manera visual el funcionamiento, fallas anormales de la operación de las máquinas. De esta manera se aumenta la seguridad del

operador y facilitando mantenimiento y control de las máquinas ,a continuación se visualiza en la figura 4.13 [36].



Figura 4.13. Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22mm [45].

4.3.6.1. Características Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22 mm

Se observa las características del Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22 mm en la tabla 4.12.

Tabla 4.12. Características Voltímetro digital de panel 60-500vca circular 22mm[45].

Tipo	Voltímetro para medida de tensiones en corriente alterna
Tensión de trabajo	24 a 500Vac
Rango de medición	60 a 500Vac
Resolución	1Vac
Tipo de indicación	Display 7 segmentos 3 dígitos
Color	Rojo, Verde, Amarillo, Azul y blanco

4.3.7. Fuentes de Alimentación

Las fuentes de alimentación son necesarias entre la red de distribución y la carga requerida de la gran parte de equipos eléctricos utilizados en la actualidad tanto en a nivel doméstico como industrial. Las fuentes de voltaje sirven para elevar o disminuir la tensión a los niveles requeridos, mientras que las fuentes de corriente son aquellas que abastecen de corriente eléctrica a una carga determinada [46].

4.4 ESQUEMA ELÉCTRICO

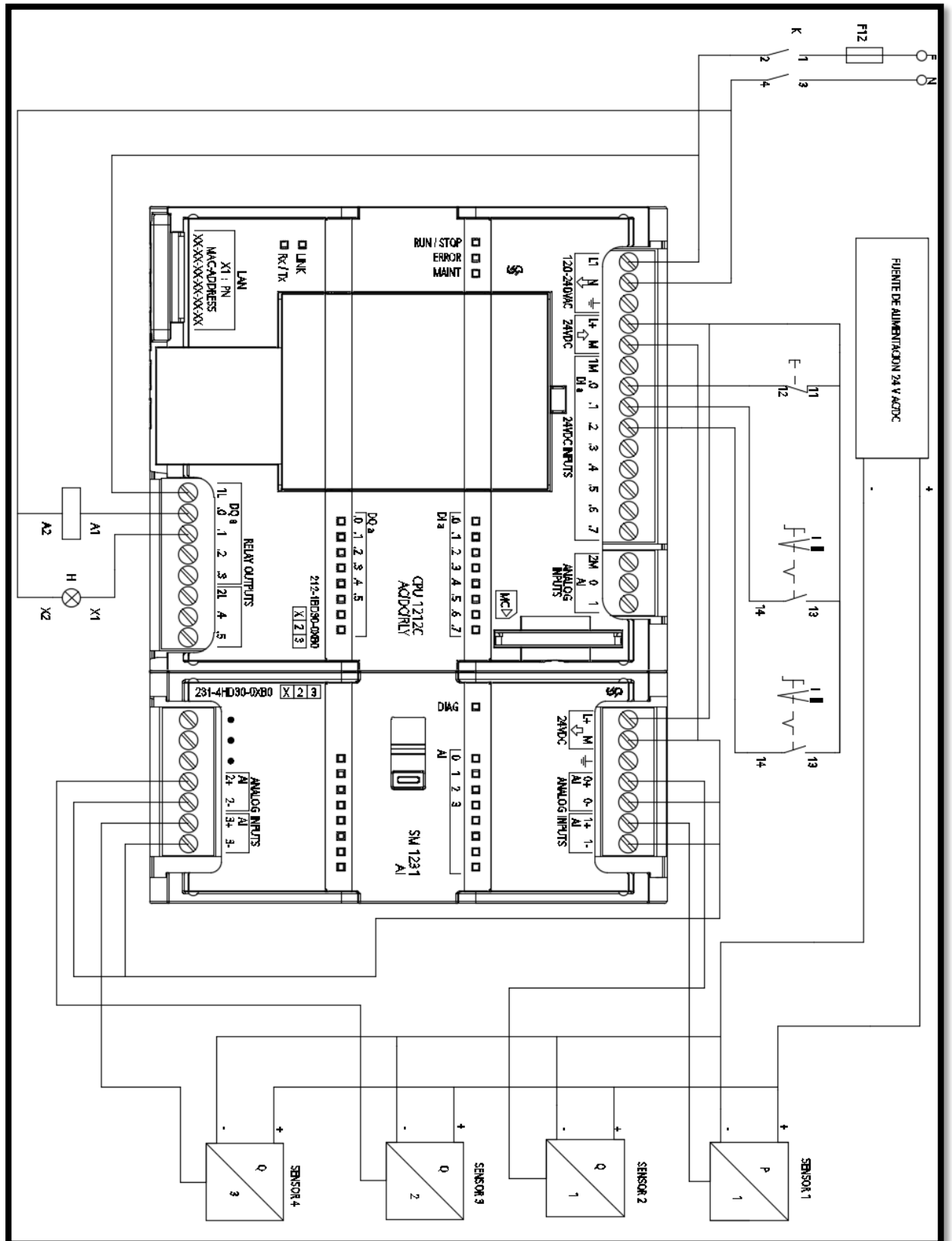


Figura 4.14. Esquema Eléctrico

4.5 ESQUEMA DE FUERZA

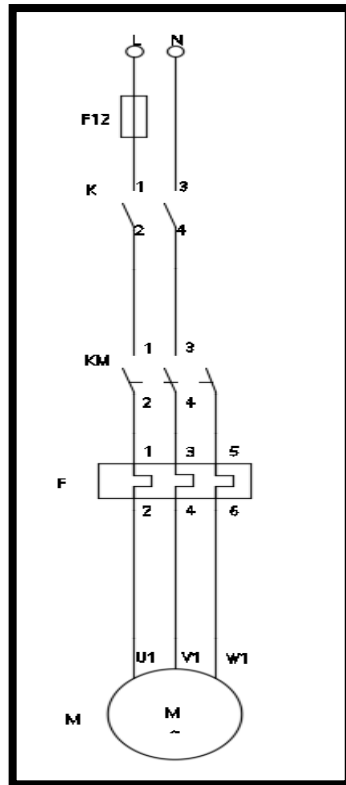


Figura 4.15. Esquema de fuerza

4.6 METODOLOGÍA

Para la automatización del módulo se ha recopilado información técnica, la cual ha servido para establecer las exigencias de construcción e implementación.

4.6.1 Diseño y construcción del módulo hidráulico

El sistema está compuesto por tres ramificaciones de tubería PVC por las cuales circula fluido se observa en la figura 4.13. Estas contienen diferentes accesorios como válvulas, que al realizar la apertura y cierre se obtienen distintas ramificaciones de monitoreo y medición que se describen a continuación:

1. Tramo 1 en el que se obtienen parámetros eléctricos e hidráulicos, está diseñado con tubería PVC roscable de diámetro 1/2".
2. Tramo 2 en el que se obtienen parámetros eléctricos e hidráulicos, está diseñado con tubería PVC roscable de diámetro 1".
3. Tramo 3 en el que se obtienen parámetros eléctricos e hidráulicos, está diseñado con tubería PVC roscable de diámetro 1-1/2".

4.6.2 Plano módulo hidráulico

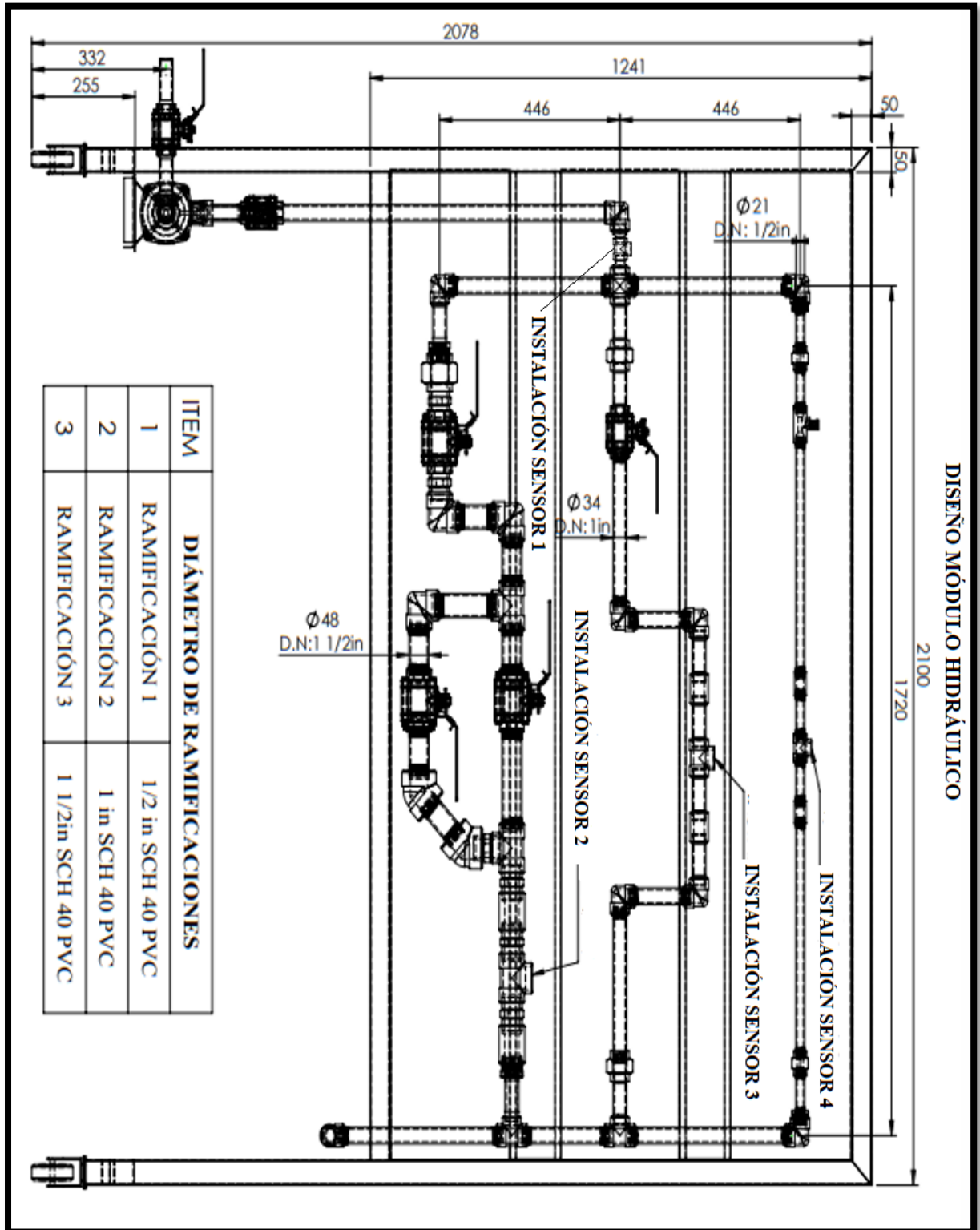


Figura 4.16. Diseño del módulo Hidráulico

4.6.3 Programación e Interfaz

4.6.3.1. Software SIEMENS TIA Portal V15

Es un software que permite elaborar códigos de control del PLC, se puede realizar vínculos de redes entre varios equipos o módulos de control. El software Tia Portal V15 cuenta con un laboratorio llamado SIMATIC STEP 7 Basic con funciones de control para los PLC S7-1200 y la gama HMI Basic Panels, como se observa en la figura 4.17 [47].

Este software nos permite utilizar tres tipos de lenguaje de programación:

- SLC: definido como “programación basada en texto”
- FBS (FUP o FBD): definido como “programación por bloques”
- KOP (LD o LAD): definido como “lógica de escalera”

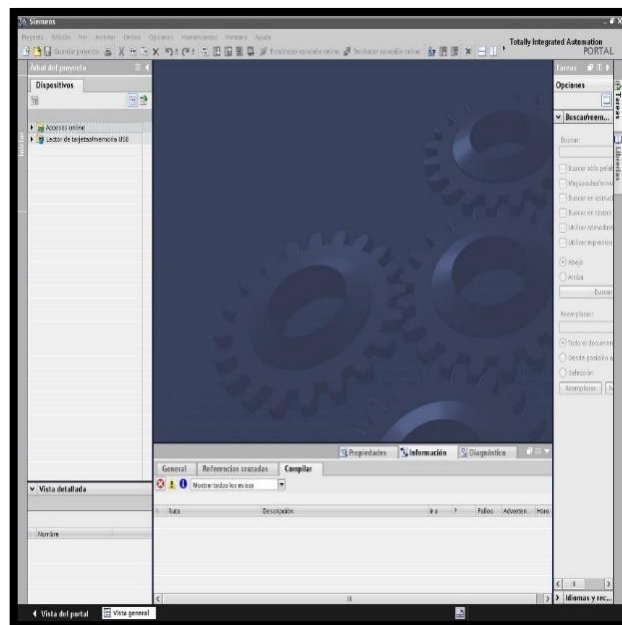


Figura 4.17. Entorno TIA Portal V15

4.6.3.2. Entorno e interfaz del TIA Portal V15.

El software proporciona un entorno de forma sencilla para programar la lógica del controlador. Con ayuda de sensores de caudal y la interconexión con un SENTRON PAC 4200, proveen variables eléctricas e hidráulicas que son visualizadas en una Panel KTP400 Basic, cuyas entradas analógicas de todos los dispositivos mencionados son conectadas al PLC S7- 1200 para su posterior control y monitoreo [48].

4.6.3.3. Normalizado y Escalado de Sensores

Se realizó la normalización y escalada de los sensores analógicos, por medio de los respectivos bloques considerando que los sensores tienen una salida entre 4 a 20mA y un flujo en el rango entre 0 a 166 L/min, se visualiza en la figura 4.18.

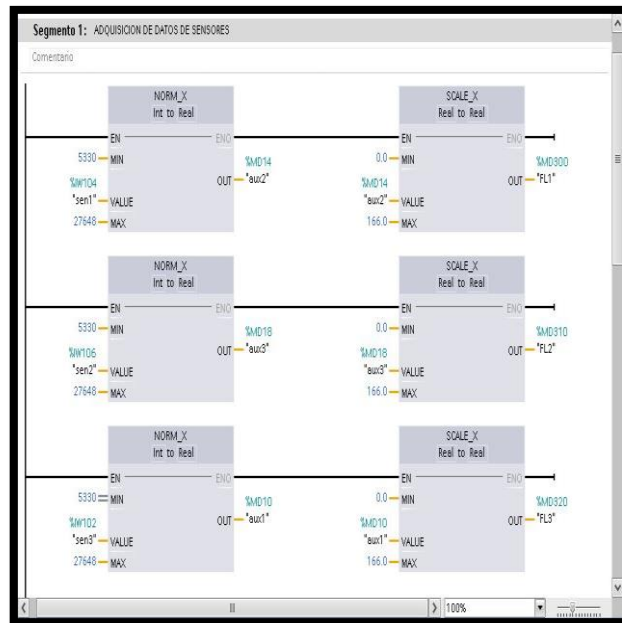


Figura 4.18. Normalizado y Escalado de los Sensores

4.6.3.4. Selección y configuración del HMI KTP400 Basic

Para incorporar la HMI KTP400 Basic en el proyecto se debe seguir los siguientes pasos:

1. Primer paso es seleccionar la opción “Agregar dispositivo” en la ventana árbol de proyecto, se procede a agregar el nuevo dispositivo dando clic en aceptar, en este caso es la KTP400 Basic, como se observa en la figura 4.19 [48] .

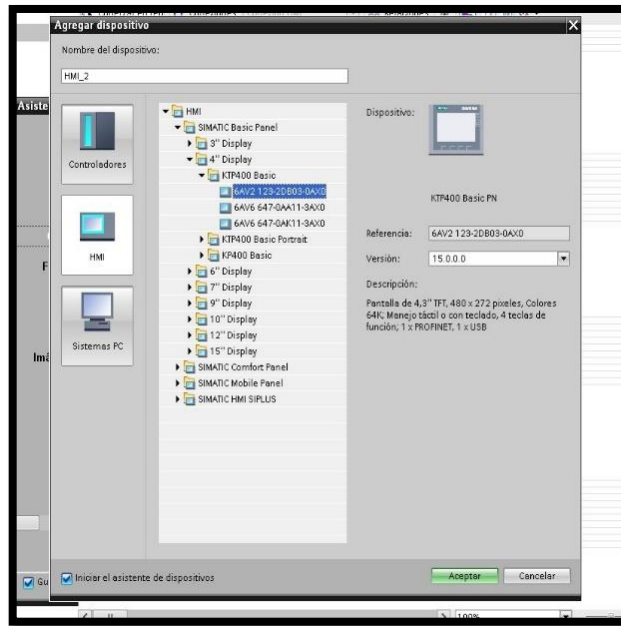


Figura 4.19. Selección del modelo de dispositivo

2. Para configurar distintos parámetros de la KTP400 Basic se utiliza el asistente del panel de operador. La principal conexión es la del PLC S7-1200, esta se elige en la opción examinar como se observa en la figura 4.20 [48] .

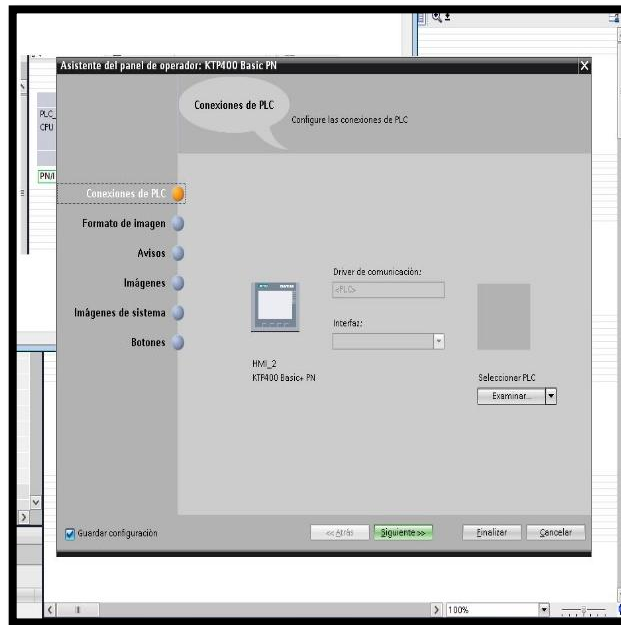


Figura 4.20. Ventana del asistente del panel de operador

3. Es necesario tomar en cuenta la IP 192.168.100.35 referente al PLC S7-1200 que se encuentran enlazada con la KTP400 Basic, como se muestra en la figura 4.21.

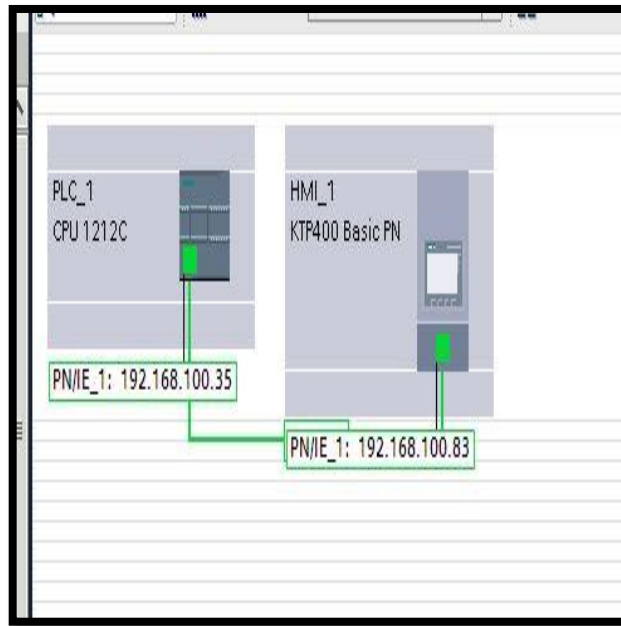


Figura 4.21. IP de la KTP400 Basic y el PLC S7-1200

4.6.3.5. Conexión del SENTRON PAC 4200 con el PLC S7-1200

Para enviar los datos del SENTRON PAC 4200 al PLC S7-1200 se utilizó el módulo MODBUS TCP, para lo cual se configuró con la dirección del SENTRON PAC 4200 desde la dirección 40001. Tomando en cuenta los parámetros principales se consideraron solo las direcciones de los mismos se observa en la figura 4.22.

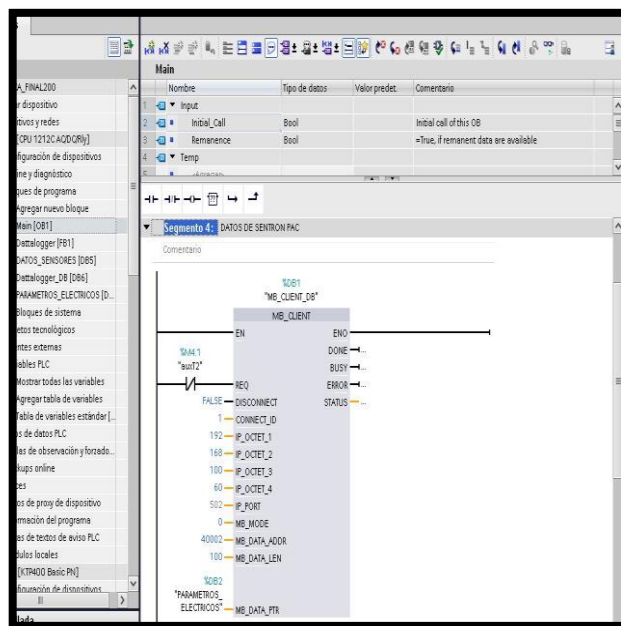


Figura 4.22. Conexión del SENTRON PAC 4200 al PLC S7-1200

Mediante un bloque de transferencia “MOVE”, movemos los datos a distintas direcciones, para poder visualizar en el Panel KTP400 Basic se observa en la figura 4.23.

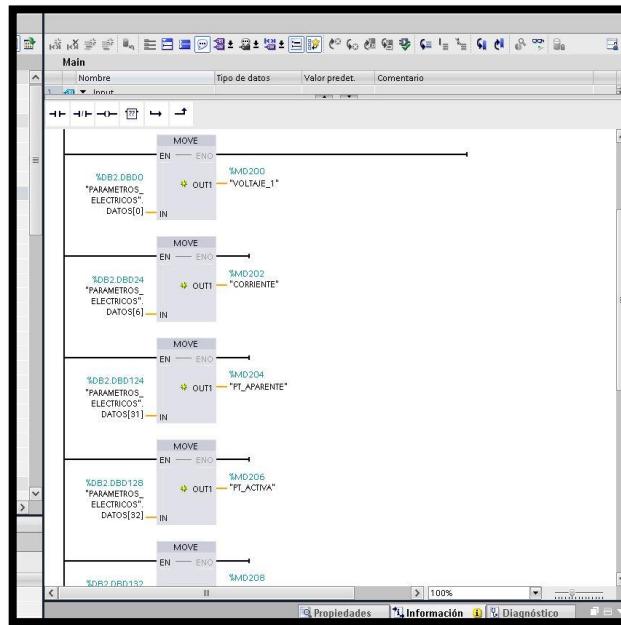


Figura 4.23. Transferencia de datos

4.6.3.6. Bloque para crear en archivo en el servidor web en el TIA Portal V15

Para obtener acceso a datos de la CPU es necesaria la configuración del servidor web, gracias a la página web del PLC S7-1200 se podrá descargar archivos con los datos de los distintas pruebas de laboratorio realizadas en cada uno de los tramos del módulo, para luego abrirlos y ser analizados en Excel se observa en la figura 4.24 [48].

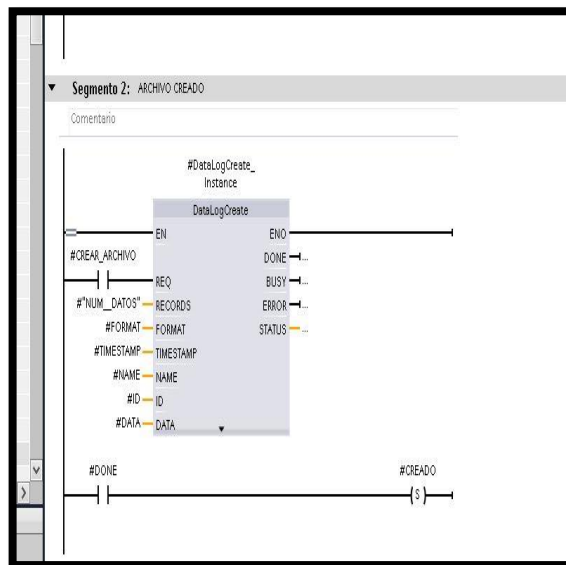


Figura 4.24. Bloque para crear datos

En la figura 4.25. Se visualiza el proceso de almacenamiento de datos en el servidor web del PLC S7-1200.

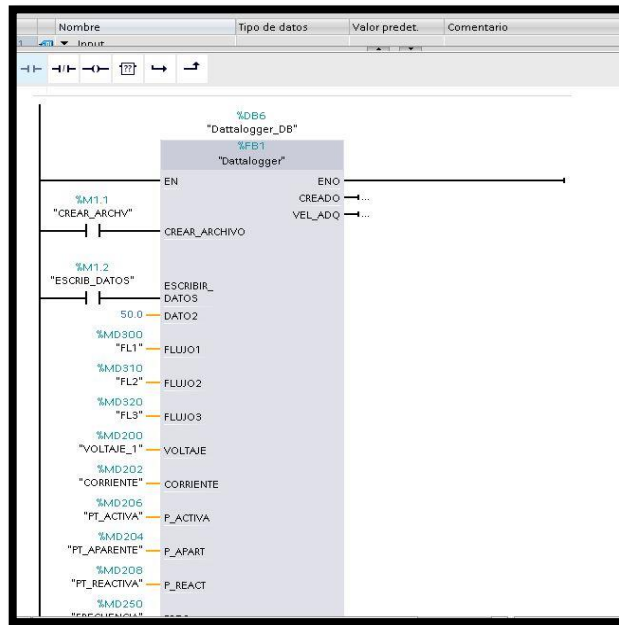


Figura 4.25. Almacenamiento de datos

4.6.3.7. Cálculo de pérdidas por fricción en tuberías y accesorios en el TIA portal V15

Para realizar el cálculo de pérdidas por fricción en tuberías se utiliza el bloque CALCULATE este nos permite ingresar fórmulas matemáticas y constantes requeridos para obtener parámetros, como se observa en la figura 4.26.

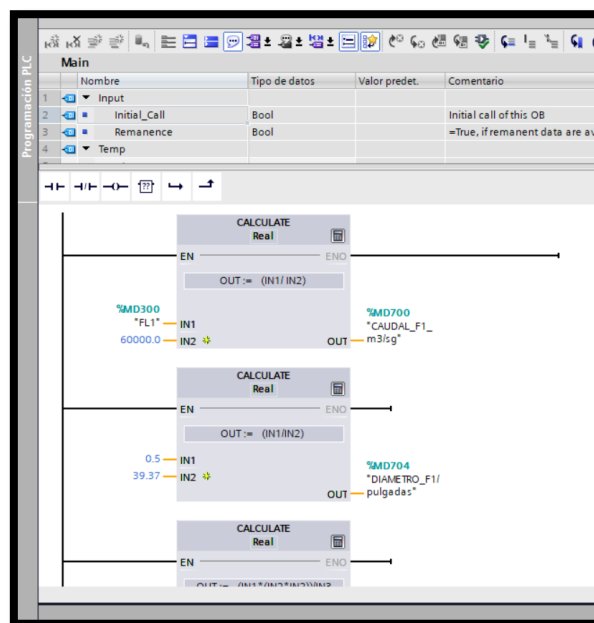


Figura 4.26. Bloque de cálculo

4.8. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN TUBERÍAS

4.8.1. Cálculo por fricción en tubería Tramo 1

Datos:

$Q_1=27 \text{ L/min}$ a 10°C

$L=1,72$

Diámetro= $0,5 \text{ plg}$

Transforma el caudal (Q) a m^3/seg

$$27 \frac{\text{L}}{\text{min}} * \left(\frac{1\text{m}^3}{1000\text{L}} \right) * \left(\frac{1\text{min}}{60\text{sg}} \right) = 0,00045 \text{ m}^3/\text{seg}$$

Transforma el diámetro de pulgadas a metros

$$0,5 \text{ plg} * \left(\frac{1}{39,37\text{plg}} \right) = 0,012700 \text{ m}$$

Calcular el área del conducto

$$A_1 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A_1 = \frac{\pi * 0,012700^2}{4}$$

$$A_1 = 0,0001266 \text{ m}^2$$

De la ecuación 3.7 se despeja la velocidad (V)

$$V = \frac{0,00045}{0,0001266}$$

$$V = 3,5523 \text{ m/seg}$$

Calcular el número de Reynolds mediante la ecuación 3.9 se toma el valor de la viscosidad cinemática a 10°C mediante el Anexo 10.

Dato:

Viscosidad cinemática $\nu = 1,31 \times 10^{-6}$

$$R = \frac{V * D}{\nu}$$

$$R = \frac{3,5523 * 0,012700}{1,31 \times 10^{-6}}$$

$$R = 34491,36 \text{ Flujo Turbulento}$$

Se calcula el factor de fricción mediante la ecuación 3.13

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f = \frac{0,316}{33491,36^{0,25}}$$

$$f = 0,02318$$

A continuación se calcula las pérdidas por fricción en tuberías mediante la ecuación 3.10

$$hf1 = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf1 = 0,02318 * \frac{1,71}{0,012700} * \frac{3,5523^2}{19,6}$$

$$hf = 2,02 \text{ m}$$

4.8.2 Cálculo por fricción en tubería Tramo 2

Datos:

Q1=31L/min a 10°C

L=1,72

Diámetro= 1 plg

Transforma el caudal (Q) a m³/seg

$$31 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L} \right) * \left(\frac{1min}{60sg} \right) = 0,0005166 \text{ m}^3/seg$$

Transforma el diámetro de pulgadas a metros

$$1 \text{ plg} * \left(\frac{1}{39,37\text{plg}} \right) = 0,02540 \text{ m}$$

$$A1 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A1 = \frac{\pi * 0,012700^2}{4}$$

$$A1 = 0,0005067 \text{ m}^2$$

$$V = \frac{0,0005166}{0,0005067}$$

$$V = 1,01965 \text{ m/seg}$$

Viscosidad cinemática $\nu = 1,31 \times 10^{-6}$

$$R = \frac{V * D}{\nu}$$

$$R = \frac{1,01965 * 0,02540}{1,31 \times 10^{-6}}$$

$$R = 19800,59 \text{ Flujo Turbulento}$$

Se calcula el factor de fricción mediante la ecuación 3.13

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f = \frac{0,316}{19800,59^{0,25}}$$

$$f = 0,02663$$

A continuación se calcula las pérdidas por fricción en tuberías mediante la ecuación 3.10

$$hf1 = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf1 = 0,02663 * \frac{1,71}{0,02540} * \frac{1,01965^2}{19,6}$$

$$hf = 0,10 \text{ m}$$

4.8.3. Cálculo por fricción en tubería Tramo 3

Datos:

Q1=35 L/min a 10°C

L=1,72

Diámetro= 1,5 plg

Transforma el caudal (Q) a m^3/seg

$$35 \frac{L}{min} * \left(\frac{1m^3}{1000L} \right) * \left(\frac{1min}{60sg} \right) = 0,0005833 \text{ m}^3/seg$$

Transforma el diámetro de pulgadas a metros

$$1,5 \text{ plg} * \left(\frac{1}{39,37\text{plg}} \right) = \mathbf{0,03810 \text{ m}}$$

$$A1 = \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$A1 = \frac{\pi * 0,03810^2}{4}$$

$$A1 = \mathbf{0,001140 \text{ m}^2}$$

$$V = \frac{0,0005833}{0,001140}$$

$$V = \mathbf{0,5116 \text{ m/seg}}$$

Viscosidad cinemática $\nu = 1,31 \times 10^{-6}$

$$R = \frac{V * D}{\nu}$$

$$R = \frac{0,5116 * 0,03810}{1,31 \times 10^{-6}}$$

$$R = \mathbf{14903,67 \text{ Flujo Turbulento}}$$

Se calcula el factor de fricción mediante la ecuación 3.13

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}}$$

$$f = \frac{0,316}{14903,67^{0,25}}$$

$$f = 0,02859$$

A continuación se calcula las pérdidas por fricción en tuberías mediante la ecuación 3.10

$$hf1 = f * \frac{L}{Di} * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf1 = 0,02859 * \frac{1,71}{0,03810} * \frac{0,5116^2}{19,6} = \mathbf{0,01724m}$$

4.9. CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN ACCESORIOS

Se presentan los valores de coeficiente K para realizar el cálculo de pérdidas de fricción en accesorios, se presentan valores en distintos diámetros en el Anexo 9.

4.9.1 Codo HH 90°


Tabla 4.13. Factores k para Codo HH 90°

	Diámetro (plg)	Factor K
	Codo de 1	0.61
	Codo de 3/4	0.73
	Codo de 1/2	0.81
	Codo de 1 1/2	0.63

4.9.2 Bushing

Se utilizó el Bushing de 1" a 1/2" en el tramo 1 ya que el conducto principal es de 1", en el tramo 3 se utilizó un Bushing de 1" a 1 1/2 "de esta manera logramos unir tuberías de distintos diámetros.

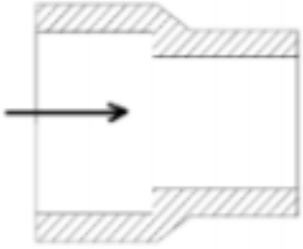
Tabla 4.14. Factores k para Codo Bushing

	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
	1/2 x 3/8	20 x 16
	3/4 x 1/2	25 x 20
	1 x 3/4	32 x 25
	1 x 1/2	32 x 20

Para realizar el cálculo del coeficiente K de los Bushing reductores siempre se toma en cuenta la dirección del flujo

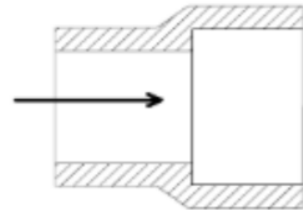
1. Cálculo para reductor de 1/2" a 1" se toma en cuenta los diámetros, $d_1=12.7$, $d_2=25.4$

Tabla 4.15. Cálculo Bushing 1

	Cálculo de reductor 1
	$K = 0.5\left(1 - \frac{d1^2}{d2^2}\right)$ $K = 0.5\left(1 - \frac{12.7^2}{25.4^2}\right)$ $K=0.37$

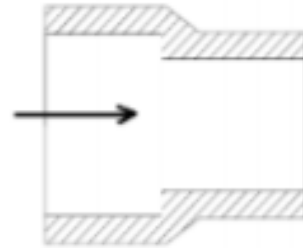
2. Cálculo para reductor de 1" a 1 1/2" se toma en cuenta los diámetros, d1=25.4, d2=38.1

Tabla 4.16. Cálculo Bushing 2

	Cálculo de reductor 2
	$K = \left(1 - \frac{d1^2}{d2^2}\right)^2$ $K = \left(1 - \frac{25.4^2}{38.1^2}\right)^2$ $K=0.30$

3. Cálculo para reductor de 1 1/2" a 1" se toma en cuenta los diámetros, d1=25.4, d2=38.1


Tabla 4.17. Cálculo Bushing 3

	Cálculo de reductor 3
	$K = 0.5\left(1 - \frac{d1^2}{d2^2}\right)$ $K = 0.5\left(1 - \frac{25.4^2}{38.1^2}\right)$ $K=0.27$

4.9.3. Unión Tee

En la construcción del módulo hidráulico se utilizó la unión de 1" en el Anexo 9 se observa la constante K en distintos diámetros.


Tabla 4.18. Factores k para Unión Tee

	Diámetro (plg)	Factor K
	Unión Tee 1/2	0.54
	Unión Tee 3/4	0.5
	Unión Tee 1	0.46
	Unión Tee 1 1/2	0.42

4.9.4. Neplo


El valor del coeficiente K para el neplo está dado por el fabricante, este valor es $K = 0.72$

Tabla 4.19. Factores k para Neplo

	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
	1/2	20
	3/4	25
	1	32
	1 1/2	50

4.9.5. Unión Universal

Tabla 4.20. Factores k para Unión Universal

	Diámetro (plg)	Diámetro (mm)
	1/2	20
	3/4	25
	1	32
	1 1/2	50

El valor del coeficiente K para la unión universal se aplica para todos los diámetros, este valor es $K=0.7$

Para el cálculo de pérdidas por fricción en tubería se ocupa la ecuación 3.14

4.9.6. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 1

Tabla 4.21. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 1

Nombre	Coficiente K
Bushing Polimex de 1" a 1/2"	0,37
Universal Polimex 1/2"	0,78
Válvula PVC de 1/2" de diámetro	9,2
Neplo Polimex	0,72
Codo HH 90°	0,81
TOTAL	11,88

$$hl1 = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$hl1 = 11,88 \left(\frac{3.55^2}{19,6} \right)$$

$$hl1 = 7,6486m$$

4.9.7. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 2

Tabla 4.22. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 2

Nombre	Coficiente K
Tee PVC 1"	0,46
Universal Polimex 1"	0,78
Válvula PVC de 1" de diámetro	7,8
Neplo Polimex	0,72
Cruz PVC	0,08
Codo HH 90	0.81
TOTAL	10,65

$$hl2 = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$hl2 = 10,65 \left(\frac{3.55^2}{19,6} \right)$$

$$hl2 = 0,5649m$$

4.9.8. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 3

Tabla 4.23. Cálculo pérdidas por accesorios Tramo 3

Nombre	Coefficiente K
Tee PVC 1-1/2"	0,42
Universal Polimex 1"	0,78
Válvula PVC de 1 1/2" de diámetro	7,1
Neplo Polimex 1/2" x 4"	0,72
Bushing Polimex de 1" a 1-1/2"	0,30
Bushing Polimex de 1-1/2" a 1"	0,27
Codo HH 90 1"	0,81
Codo HH 45 1-1/2"	0,34
Codo HH 90 1-1/2"	0,63
TOTAL	11,77

$$hl3 = k \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

$$hl3 = 11,77 \left(\frac{3.55^2}{19,6} \right)$$

$$hl3 = 0,1518m$$

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.

5.1 Comparación Parámetros Hidráulicos Tramo 1 a 45° y 90°

En la tabla 5.1 se comparan los parámetros hidráulicos obtenidos en el Tramo 1 al abrir las válvulas a 45° y 90°, este tiene un diámetro de 1/2" y su trayectoria es recta. Las muestras que entran en análisis son tomadas cada 2 segundos.

Se observa que el caudal disminuye y las pérdidas por accesorios incrementan al tener abierta la válvula a 45°.

Tabla 5.1. Parámetros Hidráulicos Tramo 1

Tiempo (seg)	CAUDAL Tramo 1 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 45°	Pérdidas por accesorios(m) a 45°	CAUDAL Tramo 1 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 90°	Pérdidas por accesorios(m) a 90°
18:24:47	15,552	0,77000	2,564	25,698	1,875	0,7018
18:24:49	15,635	0,76282	2,510	25,864	1,875	0,7105
18:24:51	15,468	0,76282	2,537	26,446	1,949	0,7338
18:24:53	15,468	0,76282	2,537	26,197	1,917	0,7200
18:24:55	15,718	0,78448	2,592	26,031	1,896	0,7109
18:24:57	15,635	0,77723	2,564	26,363	1,939	0,7292
18:24:59	15,635	0,77723	2,564	26,280	1,928	0,7246
18:25:01	15,552	0,77001	2,537	26,031	1,896	0,7109
18:25:03	15,635	0,77723	2,564	26,197	1,917	0,7200
18:25:05	15,552	0,77001	2,537	26,197	1,917	0,7200

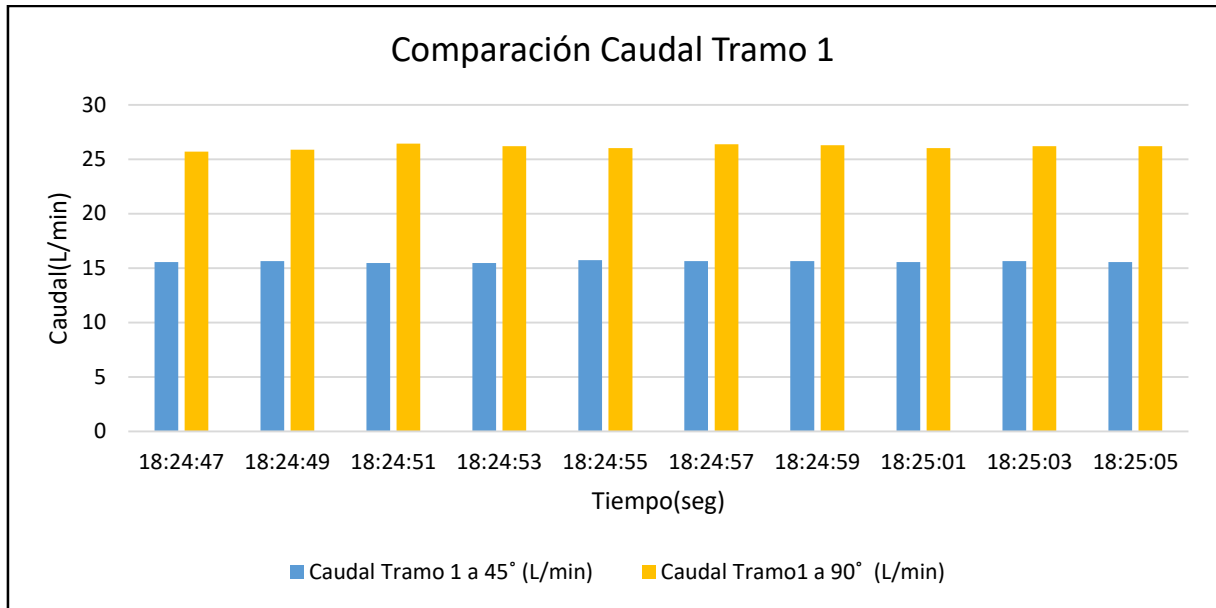


Figura 5.1. Comparación Caudal Tramo 1

5.2. Comparación Parámetros Eléctricos Tramo 1 a 45° y 90°

A continuación, la tabla 5.2 muestra los parámetros eléctricos a 45° y en la tabla 5.3 se muestran a 90° y se visualiza que el consumo de Potencia Activa es mayor al apertura la llave a 45°. Se comparan parámetros eléctricos como: voltaje (figura 5.2), corriente (figura 5.3), Potencia Activa (figura 5.4), Aparente (figura 5.5), Reactiva (5.6) y factor de potencia en el Tramo 1.

Tabla 5.2. Parámetros Eléctricos Tramo 1 a 45°

Tiempo(seg)	Voltaje (V) 90°	Corriente (A) 90°	Potencia Activa (W) 90°	Potencia Aparente (KVA) 90°	Potencia Reactiva (KVAR) 90°	Frecuencia (Hz) 90°	Factor de Potencia 90°
11:33:53	118,626	6,133	697,051	729,065	202,247	60.025	0,956
11:33:54	118,126	6,102	693,051	721,065	198,247	60.025	0,957
11:33:56	118,126	6,133	693,051	725,065	196,247	60.034	0,958
11:33:58	118,126	6,133	697,051	729,065	198,247	60.034	0,957
11:34:00	120,126	6,227	713,053	749,065	228,247	60.034	0,948
11:34:02	120,626	6,258	713,053	757,065	237,247	60.034	0,942
11:34:04	121,126	6,258	717,054	761,065	244,247	60.034	0,94
11:34:06	121,126	6,008	717,054	761,065	245,247	60.012	0,94
11:34:08	121,626	6,008	717,054	765,065	251,247	60.012	0,938
11:34:10	121,126	6,008	721,053	765,065	243,247	60.012	0,941

Tabla 5.3. Parámetros Eléctricos Tramo 1 a 90°

Tiempo(seg)	Voltaje (V) 90°	Corriente (A) 90°	Potencia Activa (W) 90°	Potencia Aparente (KVA) 90°	Potencia Reactiva (KVAR) 90°	Frecuencia (Hz) 90°	Factor de Potencia 90°
11:33:53	124,626	5,508	577,057	685,063	354,494	60,034	0,850
11:33:54	124,126	5,570	593,057	693,063	344,495	60,034	0,858
11:33:56	124,126	5,570	589,057	693,063	356,494	60,034	0,847
11:33:58	124,126	5,539	581,057	689,063	358,494	60,034	0,843
11:34:00	124,126	5,570	589,057	693,063	350,494	60,034	0,853
11:34:02	123,626	5,539	589,057	689,063	346,494	59,999	0,854
11:34:04	123,126	5,477	581,057	677,063	336,495	59,999	0,857
11:34:06	124,126	5,602	593,057	697,063	356,494	59,999	0,848
11:34:08	124,126	5,602	589,057	697,063	356,494	59,999	0,848
11:34:10	123,626	5,570	585,057	689,063	348,494	59,999	0,852

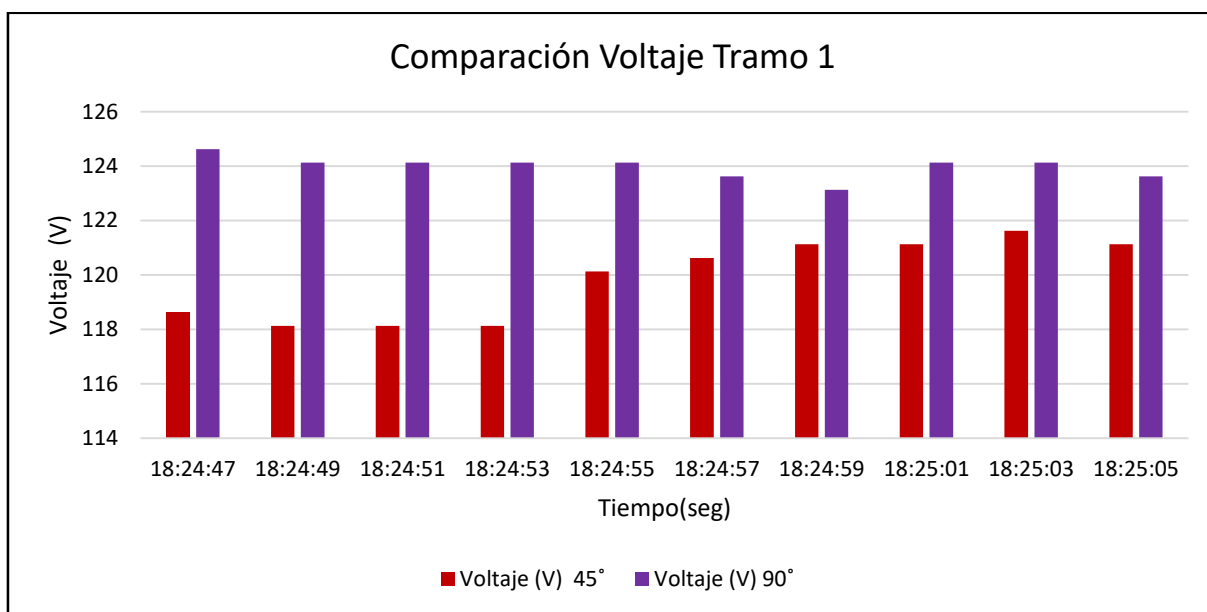


Figura 5.2. Comparación Voltaje Tramo 1

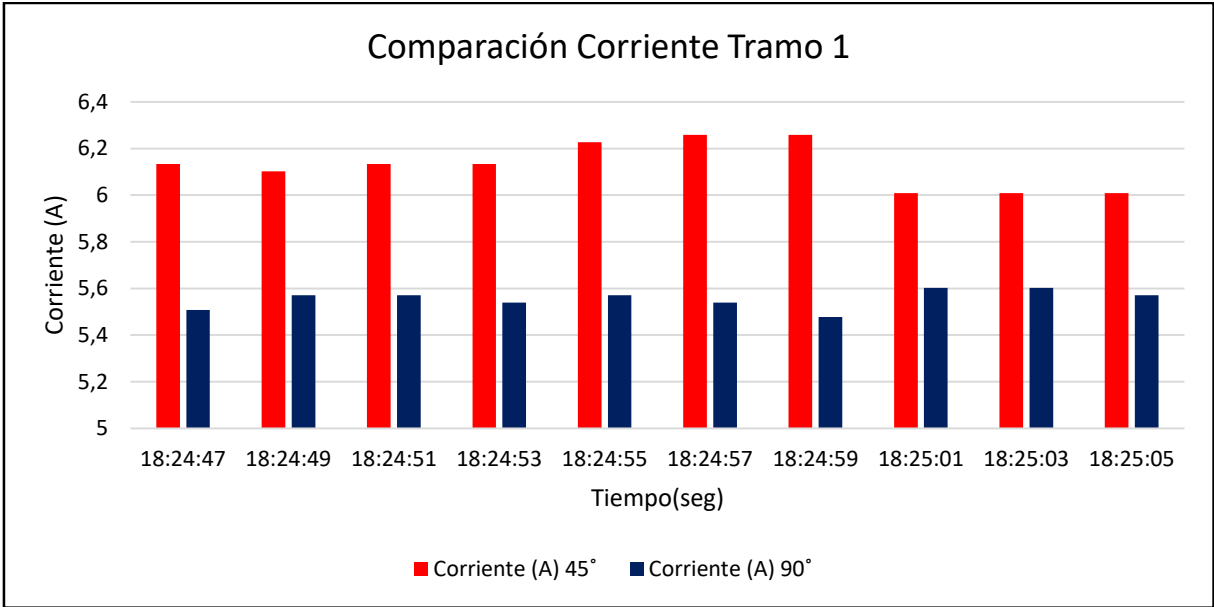


Figura 5.3. Comparación Corriente Tramo 1

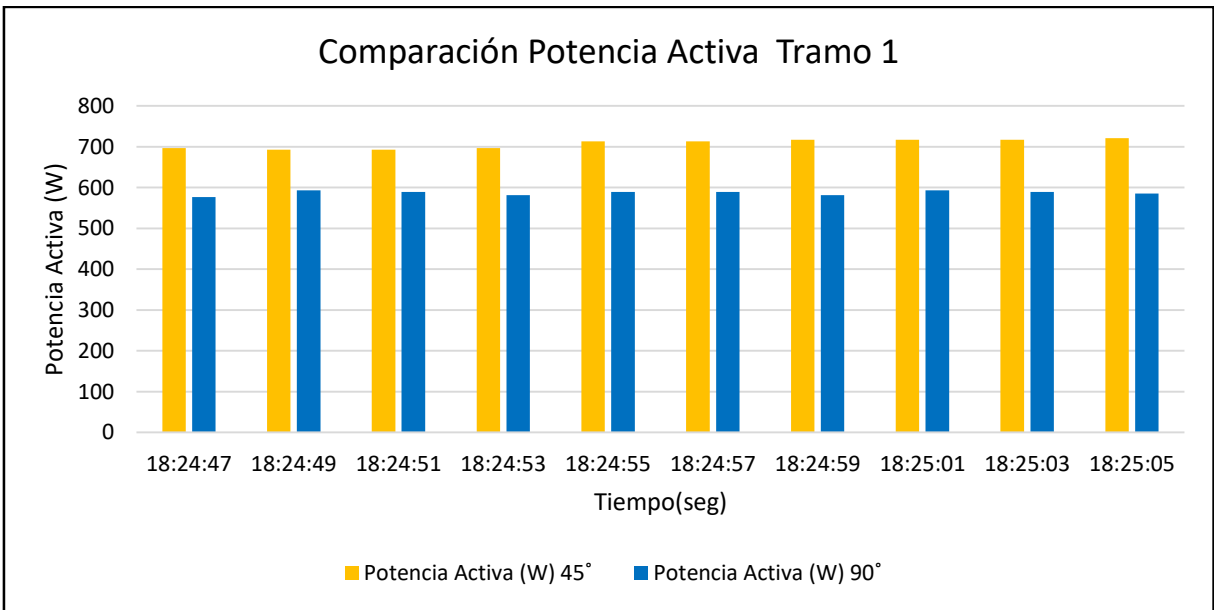


Figura 5.4. Comparación Potencia Activa Tramo 1

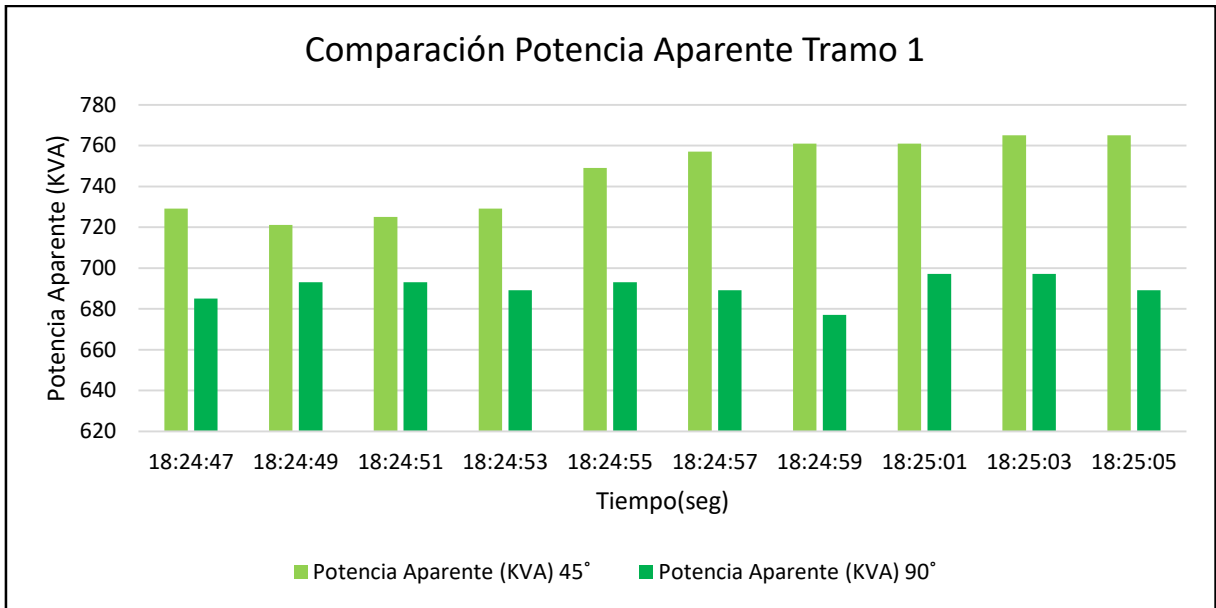


Figura 5.5. Comparación Potencia Aparente Tramo 1

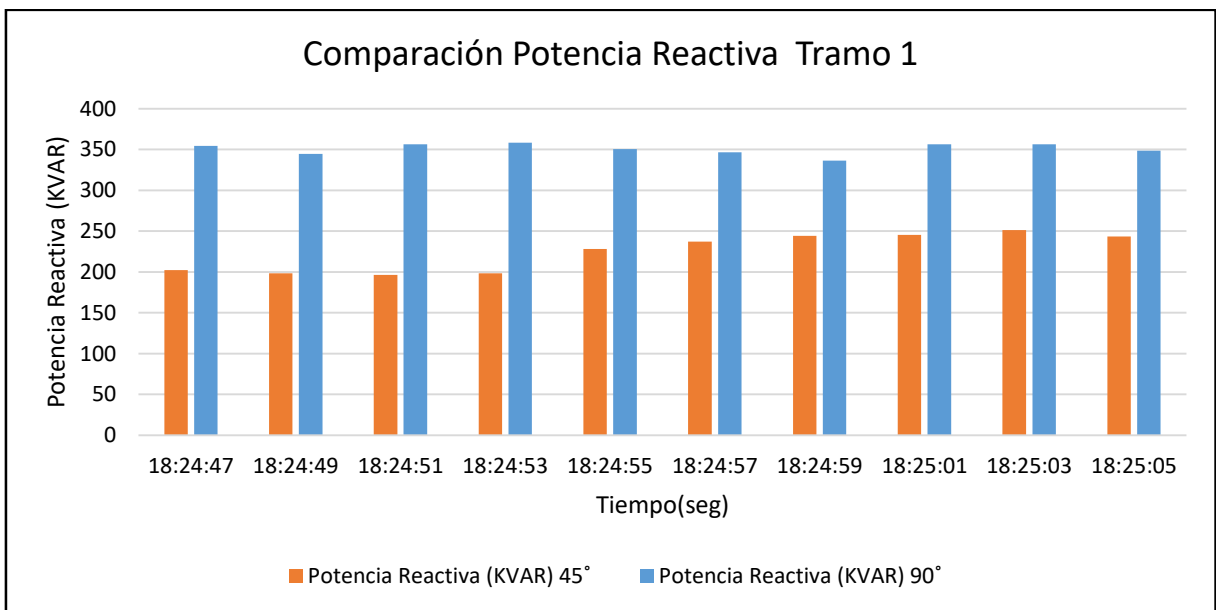


Figura 5.6. Comparación Potencia Reactiva Tramo 1

5.3 Comparación Parámetros Hidráulicos Tramo 2 a 45° y 90°

Se compara los parámetros hidráulicos obtenidos en el Tramo 2, el cual tiene un diámetro de 1", cuenta con una elevación y un descenso a 90° casi en la mitad de su trayectoria. Se observa que las pérdidas en tubería son menores al tener abierta la válvula a 45°. Mientras que, el caudal es mayor al tener abierta la válvula en su totalidad.

Se calcula el error al aplicar las ecuaciones del factor de fricción tanto experimental (ecuación 3.13), teórico (ecuación 3.14), este porcentaje obtenido dependerá del caudal y la apertura de

la válvula en el Tramo 2 .Los parámetros hidráulicos a 45° se muestran en la tabla 5.4 y a 90° se muestran en la tabla 5.5.

Tabla 5.4. Parámetros Hidráulicos Tramo 2 a 45°

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 2 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 45°	Pérdidas por accesorios(m) a 45°	Factor fricción experimental en tuberías	Factor fricción teórico en tuberías	Error (%)
18:26:53	29,068	0,086	0,501	0,02707	0,02953	8,3305
18:26:55	28,773	0,089	0,522	0,02714	0,02958	8,2488
18:26:57	26,560	0,086	0,602	0,02768	0,03002	7,7948
18:26:59	28,330	0,088	0,517	0,02724	0,02966	8,1591
18:27:01	28,625	0,087	0,511	0,02717	0,02961	8,2404
18:27:03	29,216	0,092	0,543	0,02703	0,0295	8,3728
18:27:05	27,445	0,09	0,532	0,02746	0,02984	7,9758
18:27:07	29,216	0,089	0,537	0,02703	0,0295	8,3728
18:27:09	26,707	0,087	0,506	0,02765	0,0299	7,5250
18:27:11	27,150	0,095	0,564	0,02753	0,0299	7,9264

Tabla 5.5. Parámetros Hidráulicos Tramo 2 a 90°

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 2 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 90°	Pérdidas por accesorios(m) a 90°	Factor fricción experimental en tuberías	Factor fricción teórico en tuberías	Error (%)
18:26:53	33,052	0,090	0,532	0,02621	0,02887	9,2137
18:26:55	30,986	0,083	0,481	0,02664	0,02919	8,7358
18:26:57	32,757	0,090	0,522	0,02627	0,02891	9,1317
18:26:59	29,806	0,094	0,553	0,0269	0,02939	8,4722
18:27:01	34,528	0,088	0,517	0,02593	0,02865	9,4938
18:27:03	32,609	0,088	0,517	0,0263	0,02893	9,0909
18:27:05	33,200	0,094	0,553	0,02618	0,02885	9,2547
18:27:07	29,658	0,090	0,527	0,02693	0,02942	8,4636
18:27:09	32,167	0,091	0,476	0,02639	0,029	9,0010
18:27:11	32,462	0,095	0,543	0,02633	0,02896	9,0814

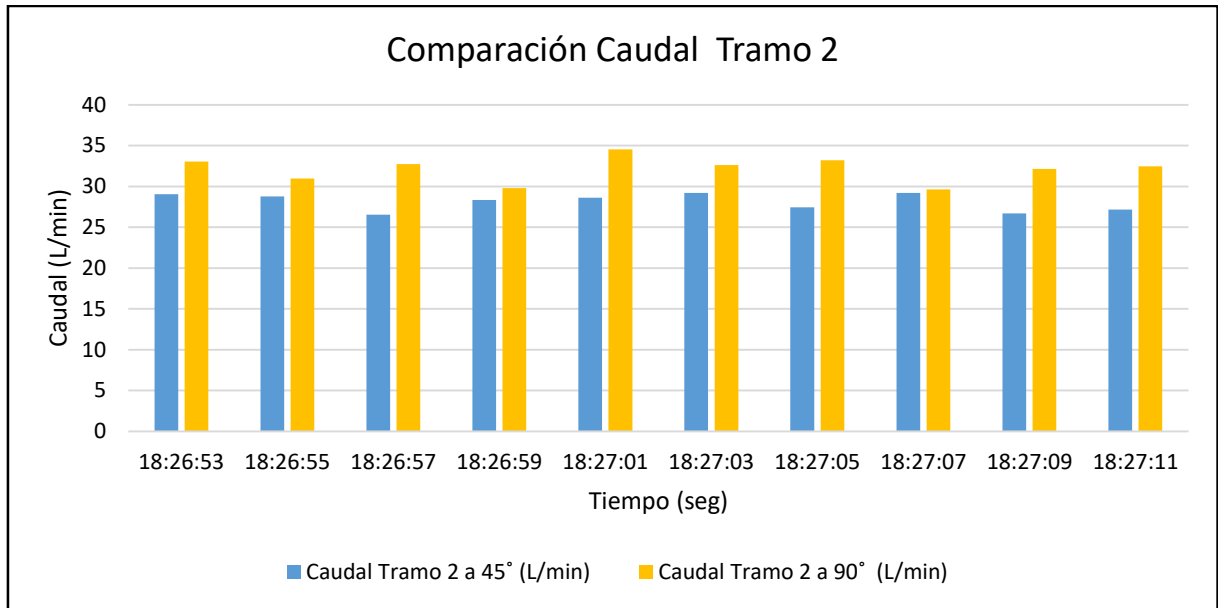


Figura 5.7. Comparación Caudal Tramo 2

5.4 Comparación Parámetros Eléctricos Tramo 2 a 45° y 90°

En la tabla 5.6 se muestra que existe mayor consumo de la bomba al tener abierta la válvula a 45°, por lo tanto, la corriente aumenta y el factor de potencia disminuye. Esta comparación se realiza en el tramo 2 abriendo la válvula a 45° y 90° los parámetros se muestran en la tabla 5.7.

En la tabla 5.8 se muestra el incremento de Potencia Activa al abrir la válvula a 45°. La comparación de los parámetros eléctricos mostrados son: voltaje (figura 5.8), corriente (figura 5.9), Potencia Activa (figura 5.10), Aparente (figura 5.11), Reactiva (5.12)

Tabla 5.6. Parámetros Eléctricos Tramo 2 a 45°

Tiempo (seg)	Voltaje (V) 45°	Corriente (A) 45°	Potencia Activa (W) 45°	Potencia Aparente (KVA) 45°	Potencia Reactiva (KVAR) 45°	Frecuencia (Hz) 45°	Factor de Potencia 45°
18:26:53	125,126	5,539	569,058	689,063	384,494	60,014	0,821
18:26:55	125,126	5,539	573,058	693,063	384,494	60,014	0,824
18:26:57	125,126	5,602	577,058	701,063	388,494	60,014	0,824
18:26:59	125,626	5,633	577,059	709,063	400,494	60,014	0,815
18:27:01	126,126	5,695	585,059	717,063	406,494	60,016	0,813
18:27:03	124,626	5,508	569,058	689,063	380,494	60,016	0,825
18:27:05	124,626	5,508	569,058	689,063	380,494	60,016	0,817
18:27:07	125,126	5,508	565,058	689,063	382,494	60,016	0,822
18:27:09	125,126	5,508	569,058	689,063	380,494	60,016	0,825
18:27:11	125,626	5,602	577,059	705,063	400,494	59,992	0,814

Tabla 5.7. Parámetros Eléctricos Tramo 2 a 90°

Tiempo(seg)	Voltaje (V) 90°	Corriente (A) 90°	Potencia Activa (W) 90°	Potencia Aparente (KVA) 90°	Potencia Reactiva (KVAR) 90°	Frecuencia (Hz) 90°	Factor de Potencia 90°
18:07:37	120,626	4,977	521,055	601,062	288,495	60,064	0,866
18:07:39	120,626	5,039	533,055	609,062	280,495	60,064	0,877
18:07:41	120,626	5,039	533,055	605,062	274,495	60,041	0,881
18:07:43	120,626	5,008	525,055	605,062	284,495	60,041	0,871
18:07:45	120,126	5,008	533,055	605,062	274,495	60,041	0,880
18:07:47	120,126	5,039	533,055	609,062	276,495	60,041	0,879
18:07:49	120,626	5,039	533,055	609,062	282,495	60,041	0,874
18:07:51	120,626	5,008	529,055	605,062	280,495	60,045	0,876
18:07:53	120,126	5,008	529,055	601,067	274,495	60,045	0,880
18:07:55	120,126	5,008	529,055	601,062	276,495	60,045	0,879

Tabla 5.8. Incremento de Potencia Tramo 2 a 45° y 90°

Tiempo (seg)	Potencia Activa (W) 45°	Potencia Activa (W) 90°	Incremento %
18:26:53	569,058	521,055	8,4355
18:26:55	573,058	533,055	6,9806
18:26:57	577,058	533,055	7,6254
18:26:59	577,059	525,055	9,0119
18:27:01	585,059	533,055	8,8886
18:27:03	569,058	533,055	6,3267
18:27:05	569,058	533,055	6,3267
18:27:07	565,058	529,055	6,3715
18:27:09	569,058	529,055	7,0296

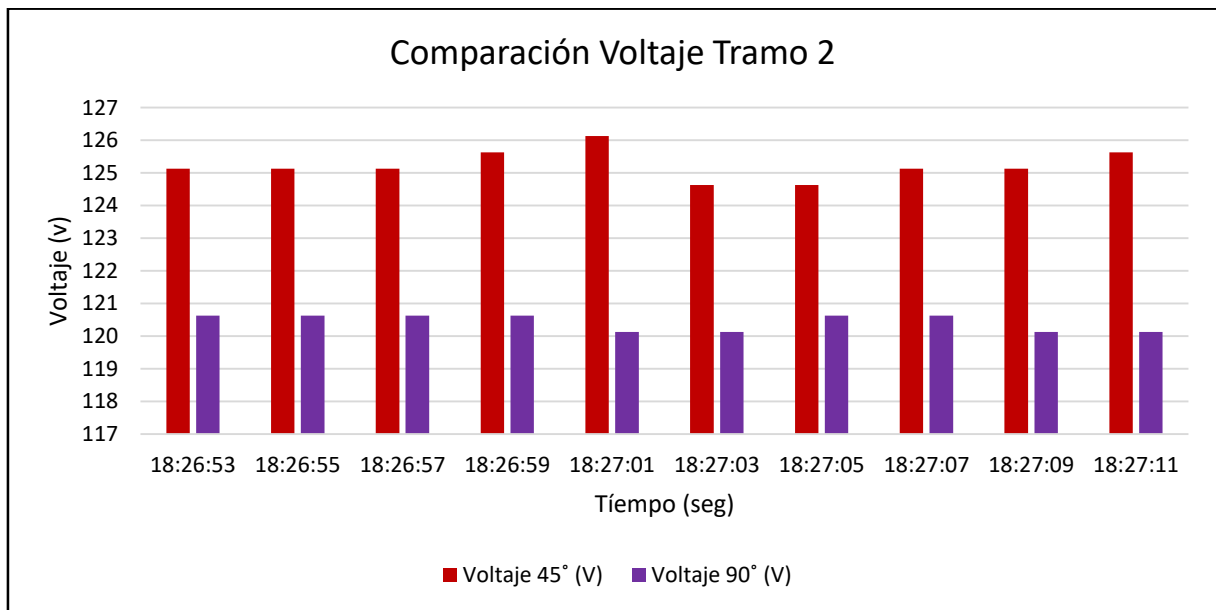


Figura 5.8. Comparación Voltaje Tramo 2

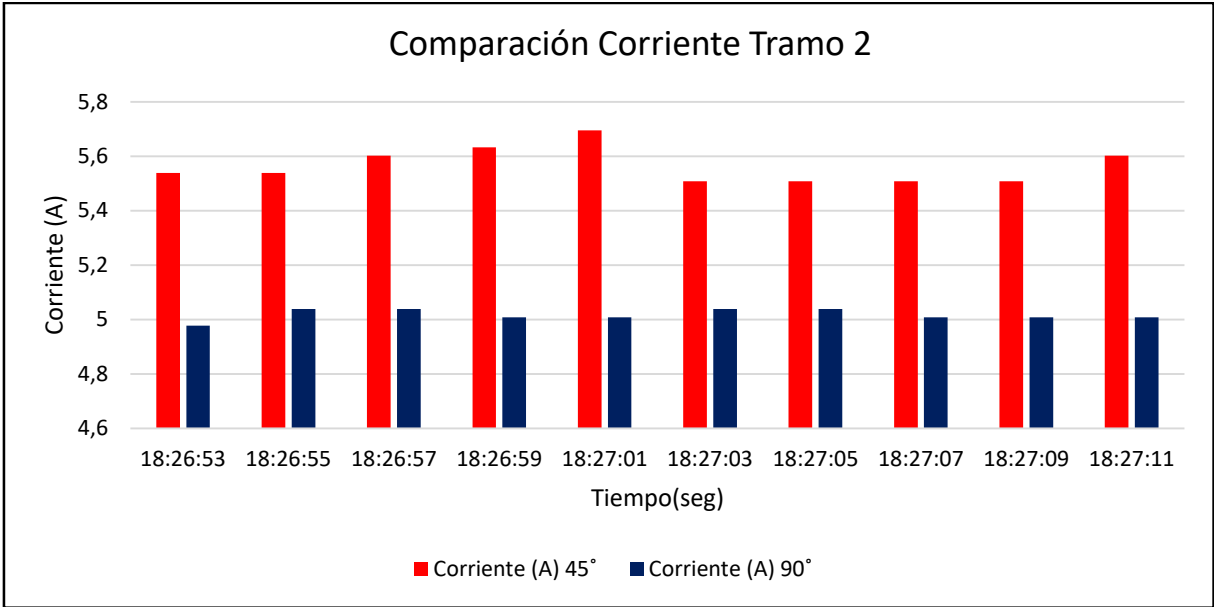


Figura 5.9. Comparación Corriente Tramo 2

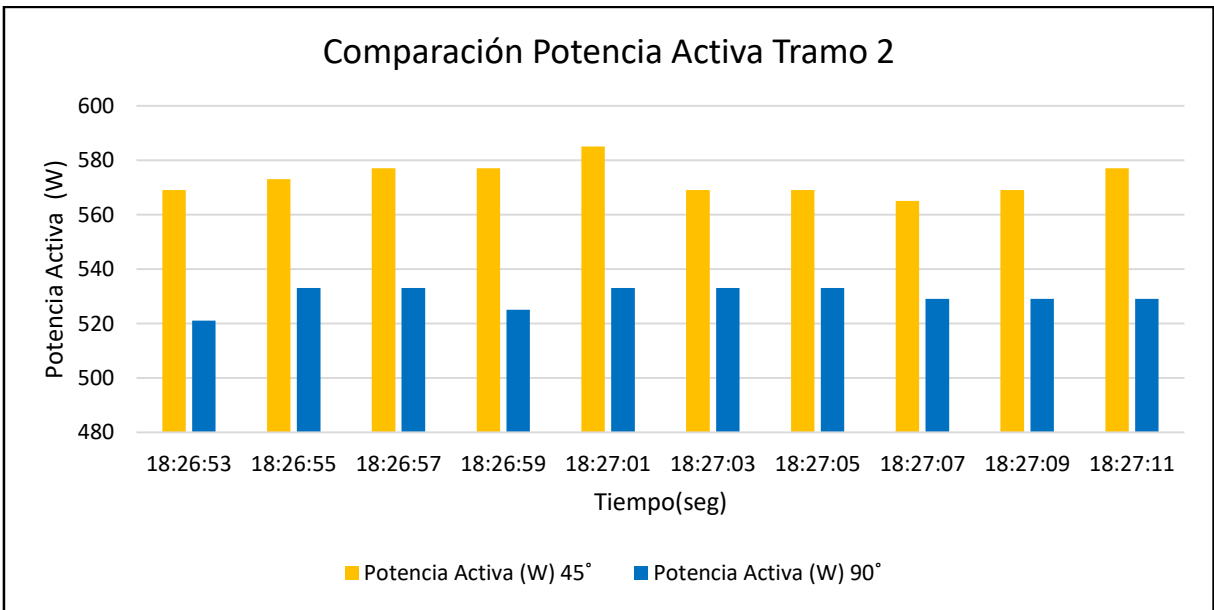


Figura 5.10. Comparación Potencia Activa Tramo 2

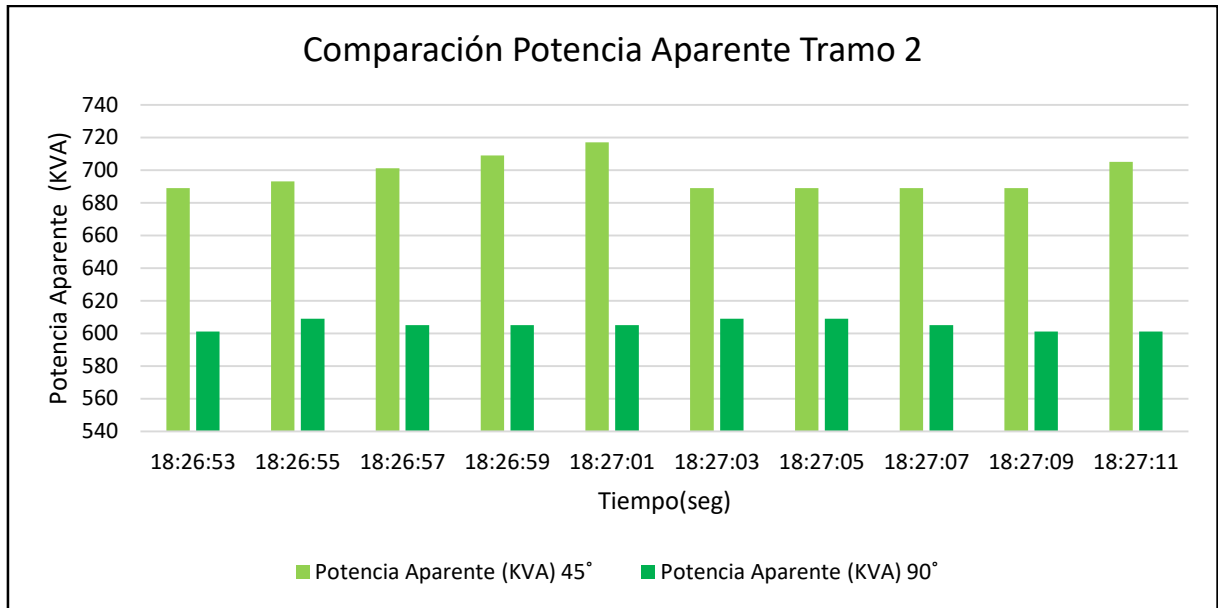


Figura 5.11. Comparación Potencia Aparente Tramo 2

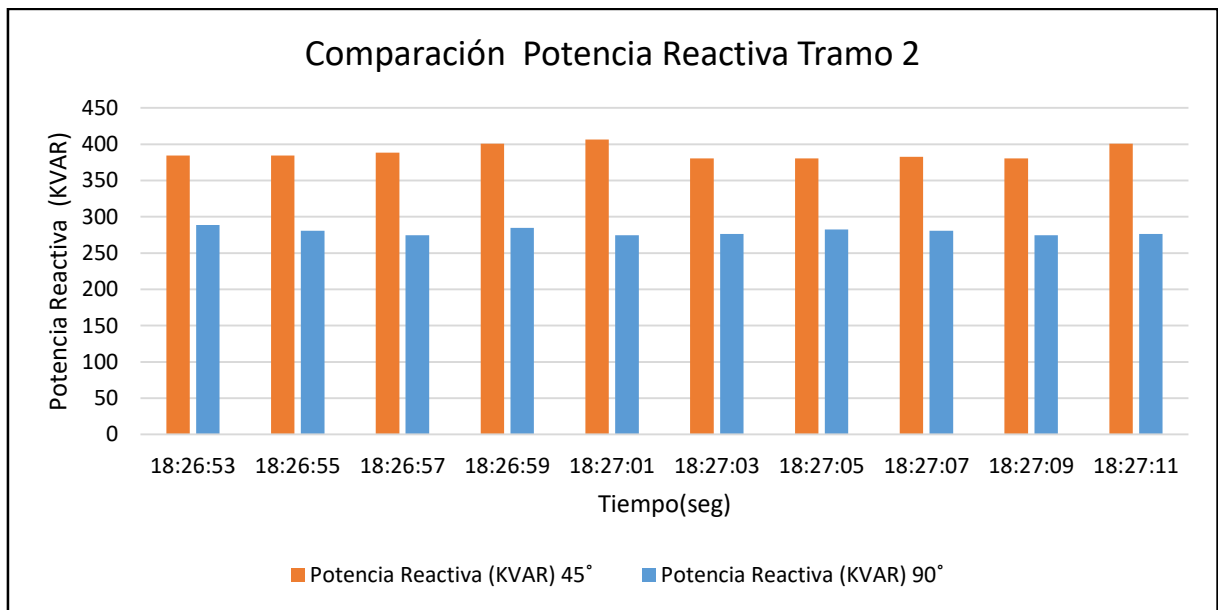


Figura 5.12. Comparación Potencia Reactiva Tramo 2

5.5. Comparación Parámetros Hidráulicos Tramo 3 Completo a 45° y 90°

La tabla 5.9 compara los parámetros hidráulicos obtenidos en el Tramo 3, el cual tiene un diámetro de 1 1/2". Cuenta con un by-pass y tres válvulas, al realizar la apertura a 45° y 90° de sus tres válvulas. Se observa que existen variaciones en el caudal entre 1 - 2 litros por minuto y en este tramo se visualiza que los cambios son mínimos en las pérdidas por tubería y accesorios. La comparación se visualiza en la figura 5.13.

Tabla 5.9. Parámetros Hidráulicos Tramo 3 Completo

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 3 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 45°	Pérdidas por accesorios(m) a 45°	Caudal Tramo 3 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 90°	Pérdidas por accesorios(m) a 90°
18:30:16	34,821	0,017	0,151	36,903	0,016	0,149
18:30:18	34,577	0,016	0,149	37,120	0,016	0,143
18:30:20	34,334	0,016	0,147	36,685	0,016	0,145
18:30:22	33,360	0,015	0,139	36,903	0,016	0,147
18:30:24	34,334	0,016	0,147	37,337	0,016	0,143
18:30:26	33,116	0,015	0,137	37,120	0,016	0,143
18:30:28	33,603	0,016	0,141	36,251	0,016	0,145
18:30:30	33,603	0,016	0,141	36,251	0,015	0,139
18:30:32	33,116	0,015	0,139	36,251	0,015	0,139
18:30:34	33,116	0,015	0,135	36,685	0,016	0,141

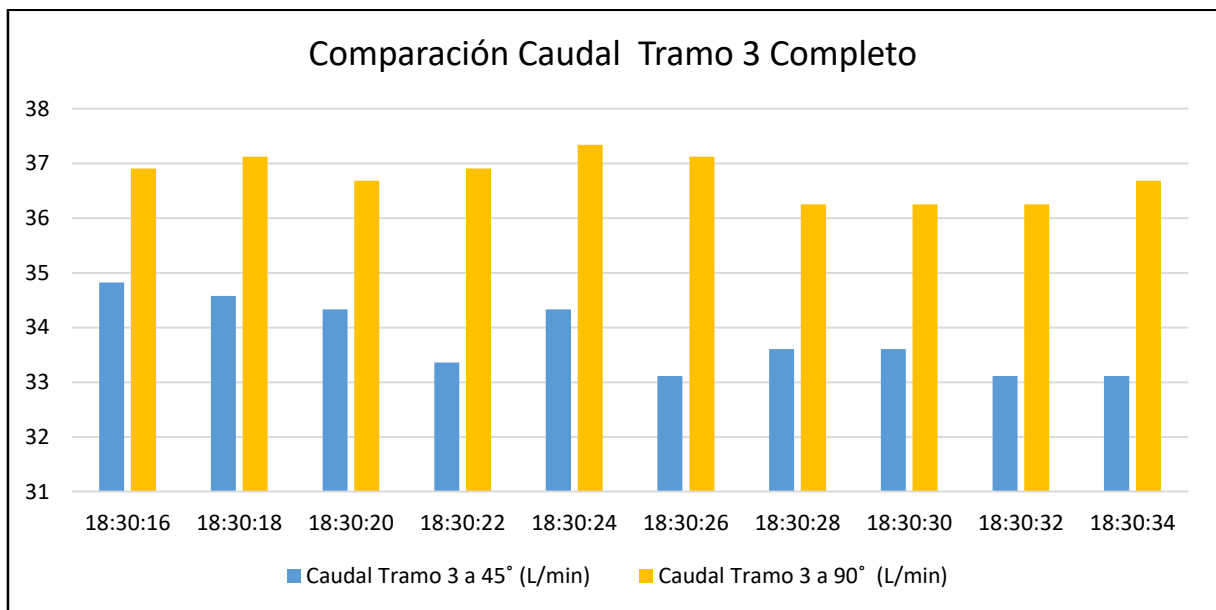


Figura 5.13. Comparación Caudal Tramo 3

5.6. Comparación Parámetros Eléctricos Tramo 3 a 45° y 90°

Se muestra la comparación de los parámetros eléctricos a 45° en la tabla 5.10 y a 90° en la tabla 5.11. Al realizar la apertura de sus tres válvulas a 45° y 90°, se visualiza incremento de la corriente, mientras que disminuye el factor de potencia, al tener aperturas las válvulas a 45°. La Potencia Aparente disminuye al abrir las válvulas a 90°.

La comparación de los parámetros eléctricos mostrados son: voltaje (figura 5.14), corriente (figura 5.15), Potencia Activa (figura 5.16), Aparente (figura 5.17), Reactiva (5.18).

Tabla 5.10. Parámetros Eléctricos Tramo 3 Completo a 45°

Tiempo (seg)	Voltaje (V) 45°	Corriente (A) 45°	Potencia Activa (W) 45°	Potencia Aparente (KVA) 45°	Potencia Reactiva (KVAR) 45°	Frecuencia (Hz) 45°	Factor de Potencia 45°
18:30:16	122,626	5,258	553,056	645,063	326,494	59,971	0,854
18:30:18	123,126	5,289	553,056	649,063	330,494	59,971	0,851
18:30:20	123,126	5,289	553,057	649,063	336,494	59,970	0,847
18:30:22	123,126	5,320	553,057	653,063	338,494	59,970	0,845
18:30:24	123,126	5,289	549,057	649,063	336,494	59,970	0,847
18:30:26	123,126	5,258	549,056	645,063	330,494	59,970	0,850
18:30:28	123,126	5,289	553,057	653,063	336,494	59,970	0,847
18:30:30	123,126	5,320	557,057	657,063	342,494	59,985	0,844
18:30:32	124,626	5,445	565,058	677,063	366,494	59,985	0,832
18:30:34	122,126	5,195	545,056	633,063	312,495	59,985	0,860

Tabla 5.11. Parámetros Eléctricos Tramo 3 Completo a 90°

Tiempo(seg)	Voltaje (V) 90°	Corriente (A) 90°	Potencia Activa (W) 90°	Potencia Aparente (KVA) 90°	Potencia Reactiva (KVAR) 90°	Frecuencia (Hz) 90°	Factor de Potencia 90°
18:11:33	120,126	4,977	525,055	601,062	282,495	59,995	0,871
18:11:35	120,126	5,008	529,055	601,062	272,495	59,995	0,880
18:11:37	119,626	4,977	525,055	593,062	268,495	59,995	0,881
18:11:39	120,126	4,977	529,055	601,062	272,495	59,995	0,880
18:11:41	120,126	4,977	529,055	601,062	270,495	59,987	0,881
18:11:43	120,126	5,008	529,055	601,062	274,495	59,987	0,880
18:11:45	120,126	4,977	525,055	597,062	274,495	59,987	0,877
18:11:47	120,126	5,008	529,055	601,062	274,495	59,987	0,878
18:11:49	120,126	4,945	525,055	597,062	274,495	59,987	0,877
18:11:51	119,626	4,977	525,055	597,062	270,495	59,960	0,881

,

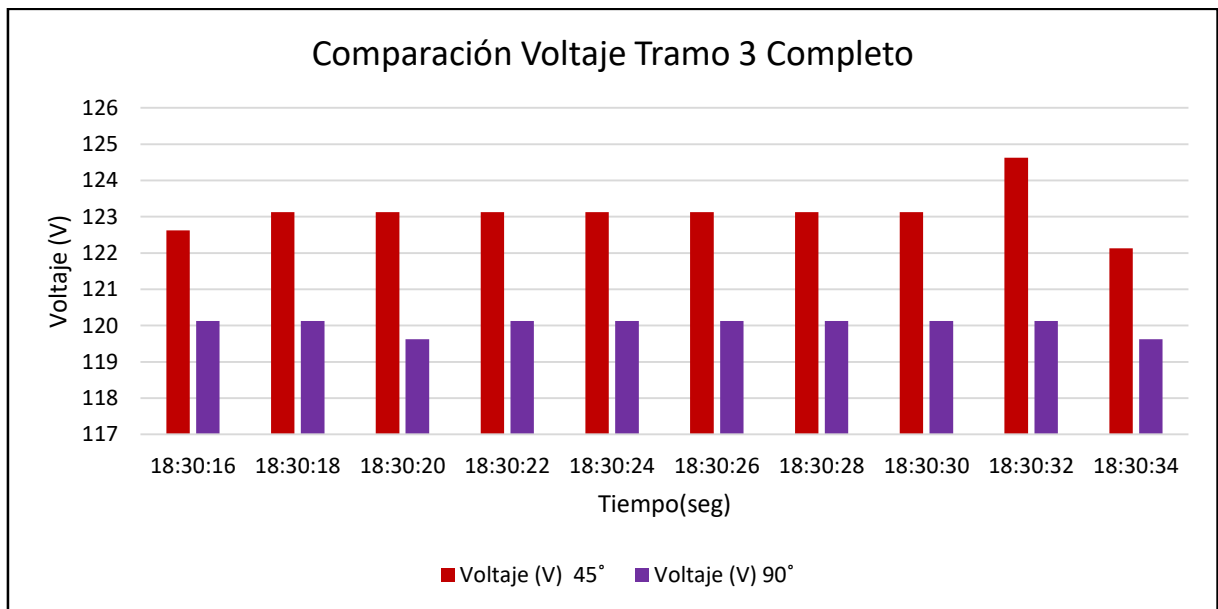


Figura 5.14. Comparación Voltaje Tramo 3 Completo

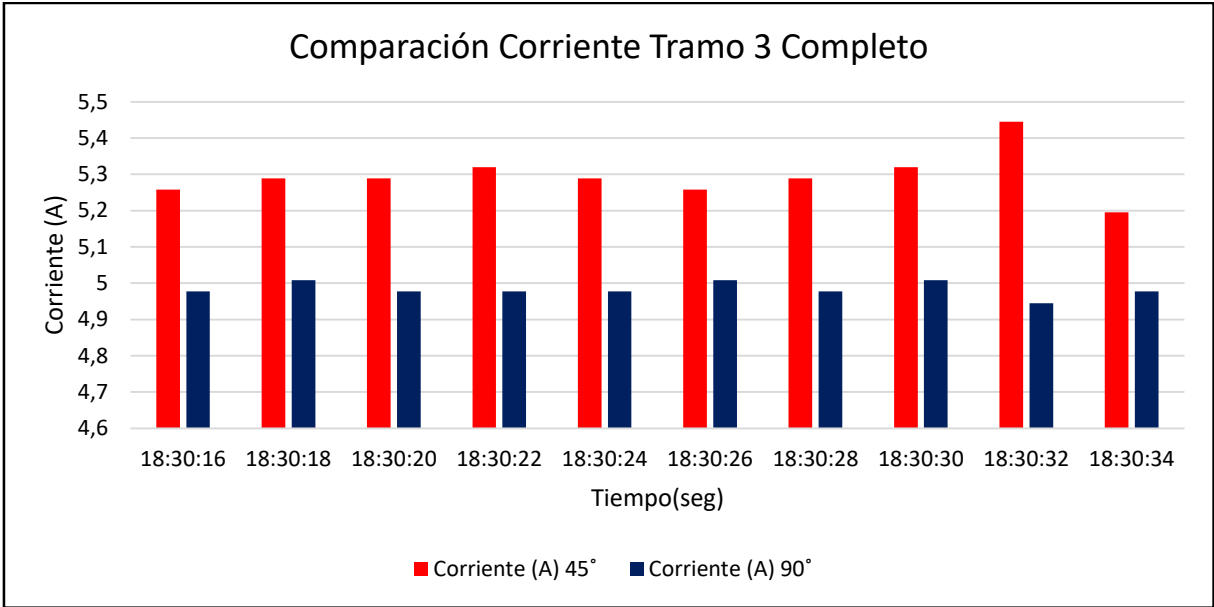


Figura 5.15. Comparación Corriente Tramo 3 Completo

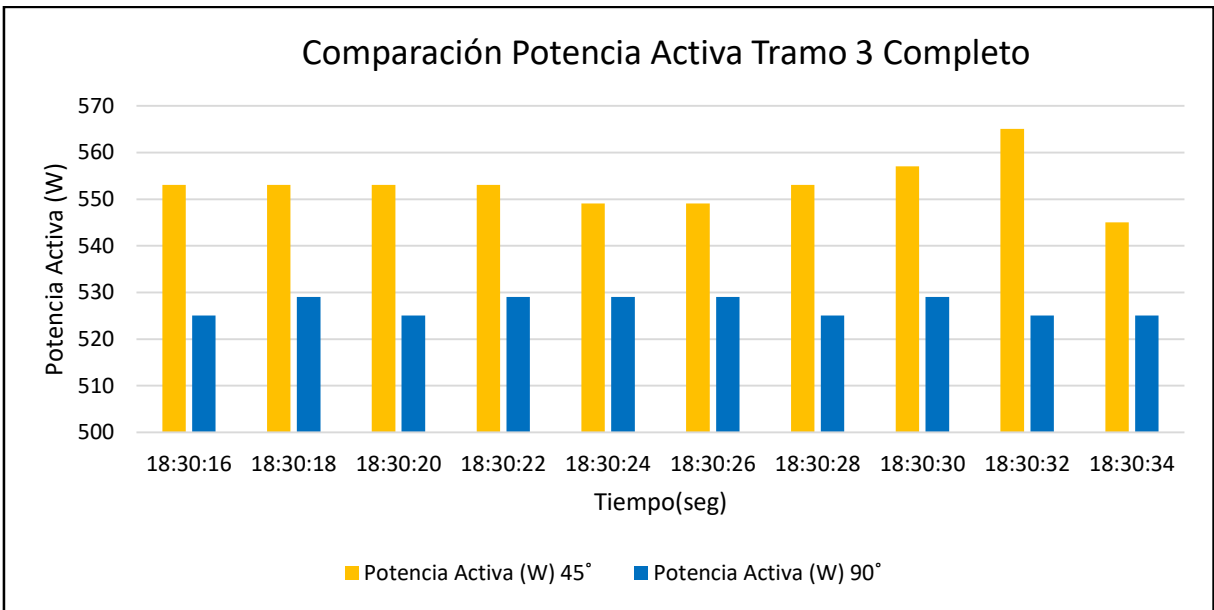


Figura 5.16. Comparación Potencia Activa Tramo 3 Completo

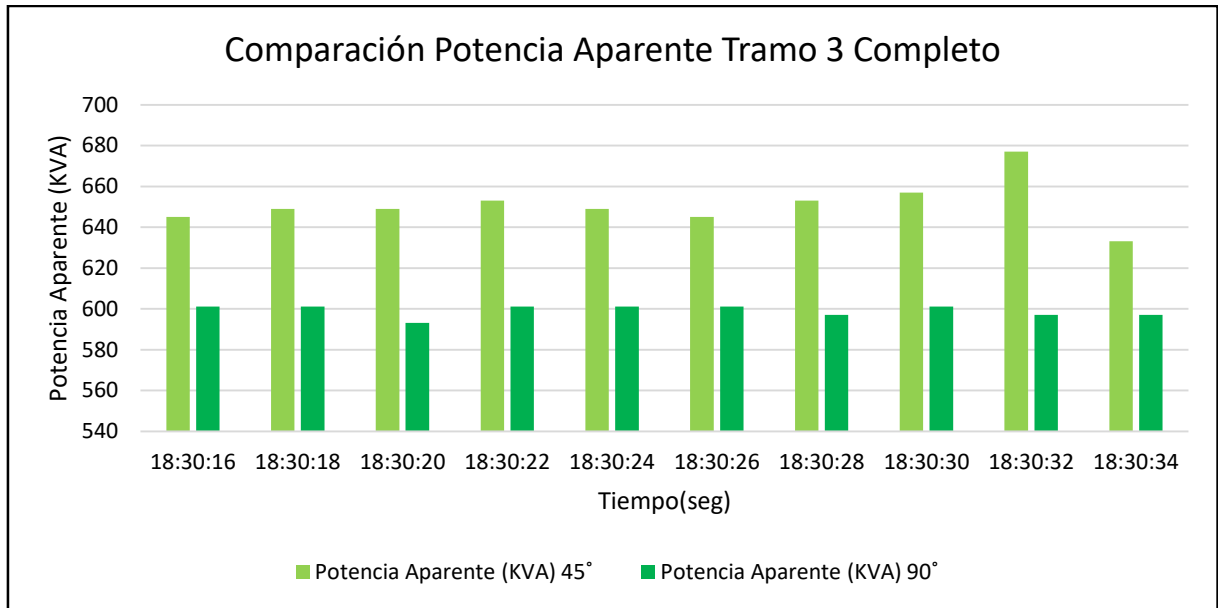


Figura 5.17. Comparación Potencia Aparente Tramo 3 Completo

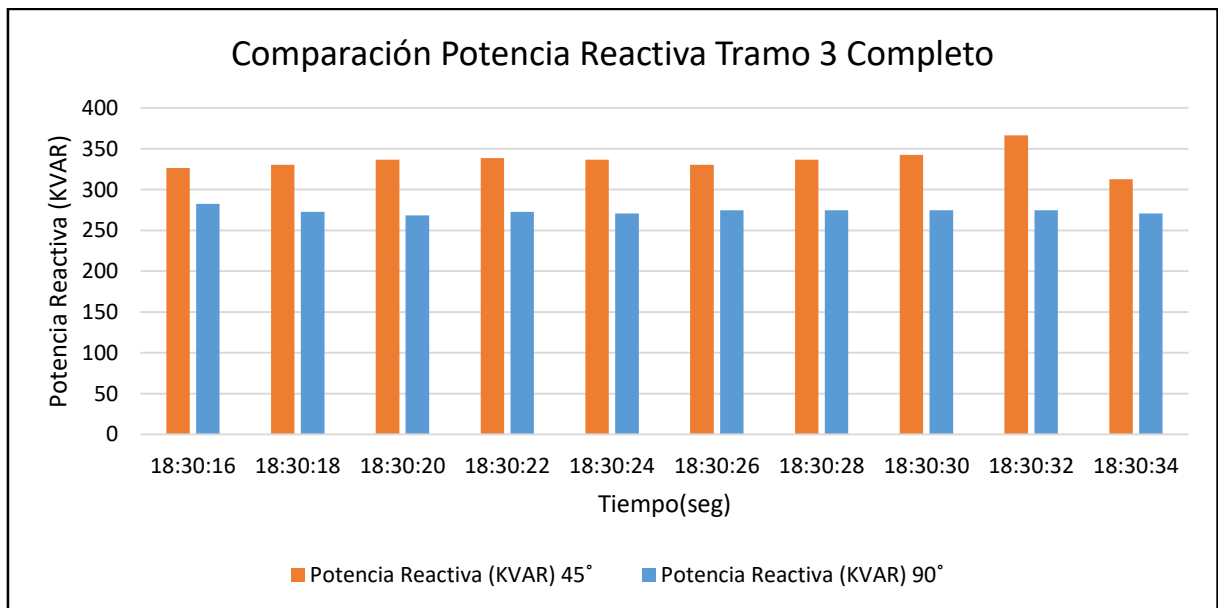


Figura 5.18. Comparación Potencia Reactiva Tramo 3 Completo

5.7. Comparación Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 45°

En la tabla 5.12 se comparan los parámetros hidráulicos obtenidos en los Tramos 1, 2,3. Al realizar la apertura a 45° de las cinco válvulas existentes en el sistema, se observa que en el Tramo 1 no circula fluido ya que se encuentra en parte alta del módulo y el Tramo 3 resulta ser por el que mayor caudal circula. Las pérdidas por accesorios y por tubería son mayores en el Tramo 2. La comparación se visualiza en la figura 5.19.

Tabla 5.12. Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 45°

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 1 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería (m) a 45°	Pérdidas por accesorios (m) a 45°	Caudal Tramo 2 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería (m) a 45°	Pérdidas por accesorios (m) a 45°	Caudal Tramo 3 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería (m) a 45°	Pérdidas por accesorios (m) a 45°
19:06:07	0	0	0	10,476	0,0234	0,1130	15,340	0,00407	0,0294
19:06:09	0	0	0	9,443	0,0200	0,0946	15,097	0,00395	0,0284
19:06:11	0	0	0	10,328	0,0132	0,0591	15,340	0,00373	0,0266
19:06:13	0	0	0	14,460	0,0180	0,0839	15,097	0,00395	0,0284
19:06:15	0	0	0	14,312	0,0188	0,0880	15,584	0,00418	0,0303
19:06:17	0	0	0	14,460	0,0247	0,1200	15,584	0,00418	0,0303
19:06:19	0	0	0	11,656	0,0251	0,1220	15,340	0,00407	0,0294
19:06:21	0	0	0	11,066	0,0229	0,1100	15,097	0,00395	0,0284
19:06:23	0	0	0	11,509	0,0157	0,0881	15,097	0,00407	0,0294
19:06:25	0	0	0	10,476	0,0168	0,0778	15,340	0,00407	0,0294

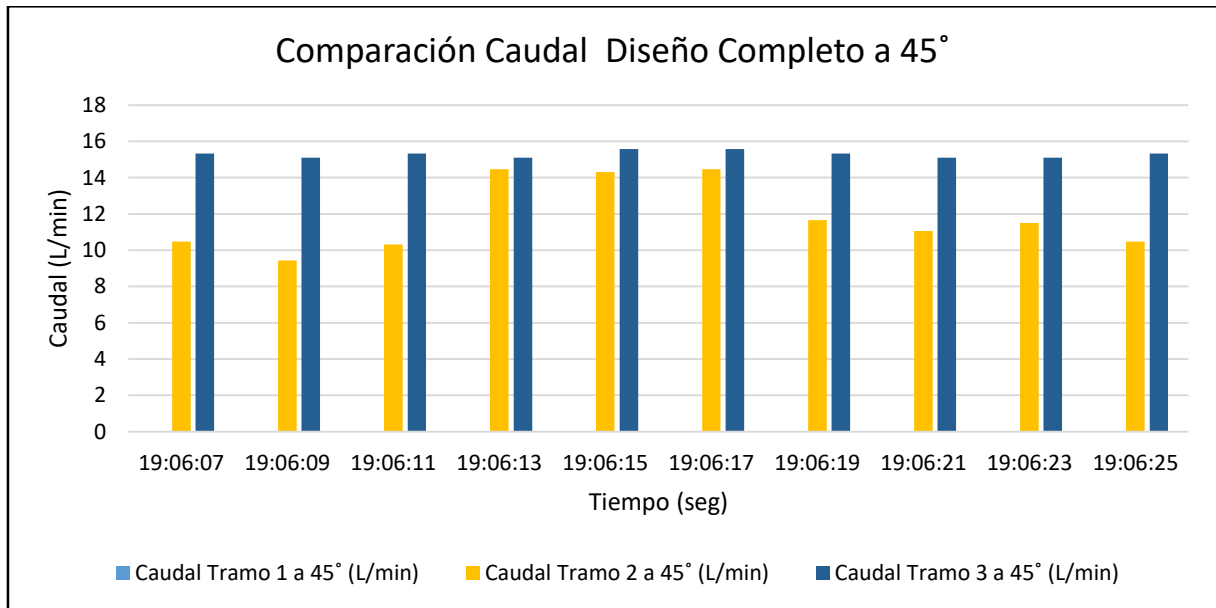


Figura 5.19. Comparación Caudal Diseño Completo a 45°

5.8. Comparación Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 90°

La tabla 5.13 compara los parámetros hidráulicos obtenidos en los Tramos 1, 2,3. Al realizar la apertura a 90° de las cinco válvulas existentes en el sistema. A igual que en el análisis anterior se observa que en el Tramo 1 no circula fluido ya que se encuentra en parte alta del módulo

Las pérdidas por accesorios y por tubería son menores en el Tramo 3 y por este resulta ser por donde circula mayor caudal. La comparación se visualiza en la figura 5.20.

Tabla 5.13. Parámetros Hidráulicos Diseño Completo a 90°

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 1 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería (m) a 90°	Pérdidas por accesorios (m) a 90°	Caudal Tramo 2 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería (m) a 90°	Pérdidas por accesorios (m) a 90°	Caudal Tramo 3 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería (m) a 90°	Pérdidas por accesorios (m) a 90°
18:20:27	0	0	0	11,214	0,0161	0,0739	20,698	0,0068	0,0535
18:20:29	0	0	0	8,853	0,0106	0,0460	19,237	0,0060	0,0462
18:20:31	0	0	0	10,771	0,0150	0,0682	18,993	0,0059	0,0450
18:20:33	0	0	0	11,509	0,0168	0,0778	18,993	0,0059	0,0450
18:20:35	0	0	0	11,804	0,0119	0,0524	18,993	0,0059	0,0450
18:20:37	0	0	0	11,361	0,0109	0,0476	18,750	0,0057	0,0439
18:20:39	0	0	0	11,214	0,0225	0,1083	18,750	0,0060	0,0462
18:20:41	0	0	0	13,722	0,0161	0,0739	18,750	0,0057	0,0439
18:20:43	0	0	0	13,280	0,0217	0,1036	19,237	0,0060	0,0462
18:20:45	0	0	0	11,509	0,01697	0,5575	19,237	0,0060	0,0462

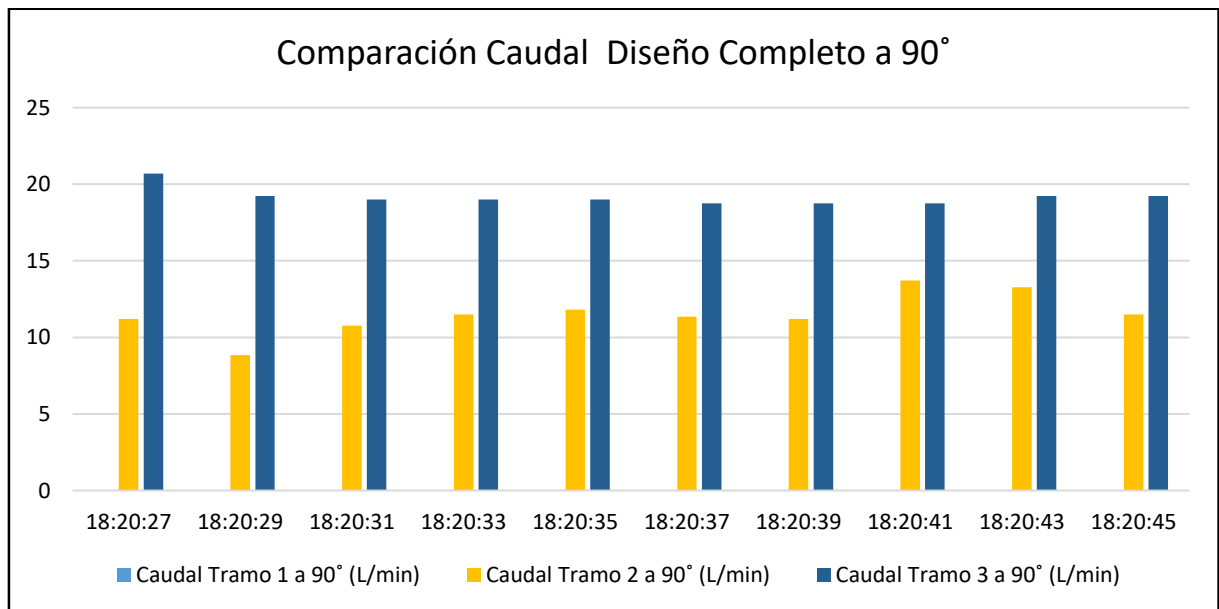


Figura 5.20. Comparación Caudal Diseño Completo a 90°

5.9. Comparación Parámetros Eléctricos Diseño Completo a 45° y 90°

A continuación, en la tabla 5.14 se observa los parámetros eléctricos a 45° y a 90° en la tabla 5.15. La comparación de los parámetros eléctricos en el Tramo 1, 2,3 al realizar la apertura de las cinco válvulas a 45° y 90°, se muestra que al abrir las válvulas a 45° el consumo de la bomba aumenta, las potencias son superiores que al estar abiertas las válvulas en su totalidad y el factor de potencia disminuyen.

La comparación de los parámetros eléctricos mostrados son: voltaje (figura 5.21), corriente (figura 5.22), Potencia Activa (figura 5.23), Aparente (figura 5.24), Reactiva (5.25).

Tabla 5.14. Parámetros Eléctricos Diseño Completo a 45°

Tiempo (seg)	Voltaje (V) 45°	Corriente (A) 45°	Potencia Activa (W) 45°	Potencia Aparente (KVA) 45°	Potencia Reactiva (KVAR) 45°	Frecuencia (Hz) 45°	Factor de Potencia 45°
19:06:07	121,126	5,008	517,056	605,062	298,494	60,044	0,855
19:06:09	120,626	4,977	525,055	601,062	284,495	60,044	0,870
19:06:11	120,626	4,977	521,055	601,062	286,495	60,033	0,868
19:06:13	121,126	5,070	533,055	613,062	290,495	60,033	0,870
19:06:15	121,126	5,008	529,055	609,062	286,495	60,033	0,872
19:06:17	120,626	5,039	533,055	605,062	280,495	60,033	0,875
19:06:19	121,126	5,039	525,056	609,062	298,495	60,033	0,860
19:06:21	120,126	5,008	529,055	601,062	274,495	60,042	0,880
19:06:23	120,626	5,039	533,055	609,062	284,495	60,042	0,874
19:06:25	120,126	4,977	529,055	601,062	272,495	60,042	0,880

Tabla 5.15. Parámetros Eléctricos Diseño Completo a 90°

Tiempo(seg)	Voltaje (V) 90°	Corriente (A) 90°	Potencia Activa (W) 90°	Potencia Aparente (KVA) 90°	Potencia Reactiva (KVAR) 90°	Frecuencia (Hz) 90°	Factor de Potencia 90°
18:20:27	124,126	5,383	557,057	669,063	356,494	60,002	0,834
18:20:29	123,626	5,414	557,057	669,063	360,494	60,002	0,831
18:20:31	123,626	5,414	557,057	673,063	362,494	59,997	0,831
18:20:33	123,626	5,414	557,057	673,063	362,494	59,997	0,831
18:20:35	124,126	5,414	561,057	673,063	362,494	59,997	0,831
18:20:37	124,126	5,414	561,057	673,063	362,494	59,997	0,833
18:20:39	124,126	5,383	557,057	669,063	356,494	59,997	0,834
18:20:41	124,126	5,414	561,058	673,063	364,494	59,968	0,831
18:20:43	124,626	5,539	569,058	693,063	384,494	59,968	0,819
18:20:45	124,126	5,383	561,058	677,063	366,494	59,968	0,830

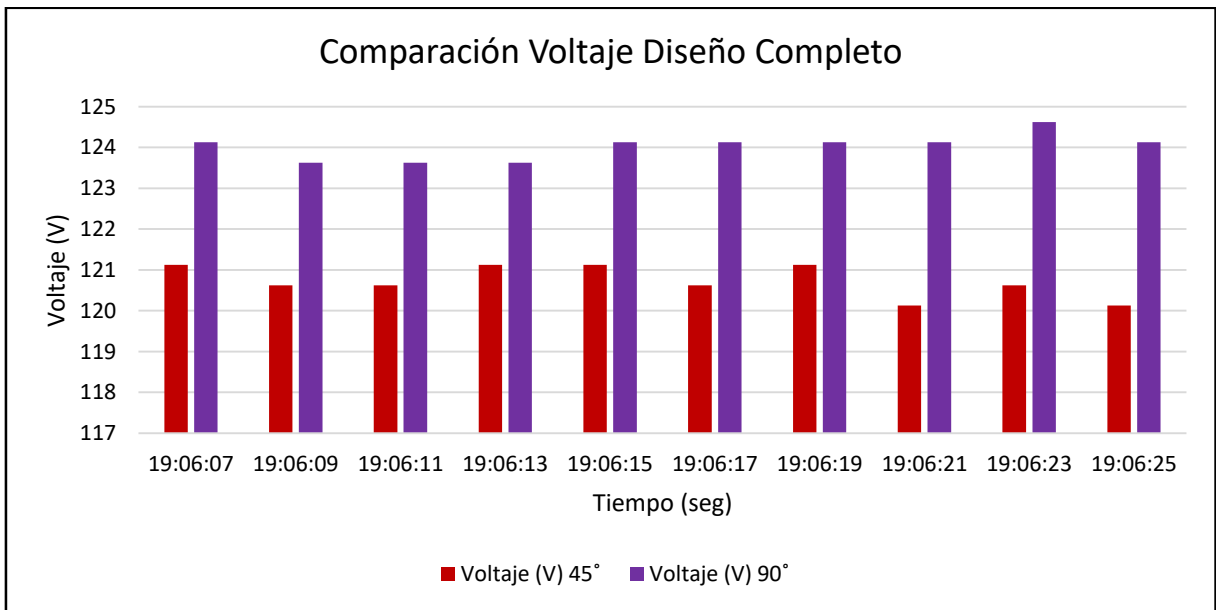


Figura 5.21. Comparación Voltaje Diseño Completo

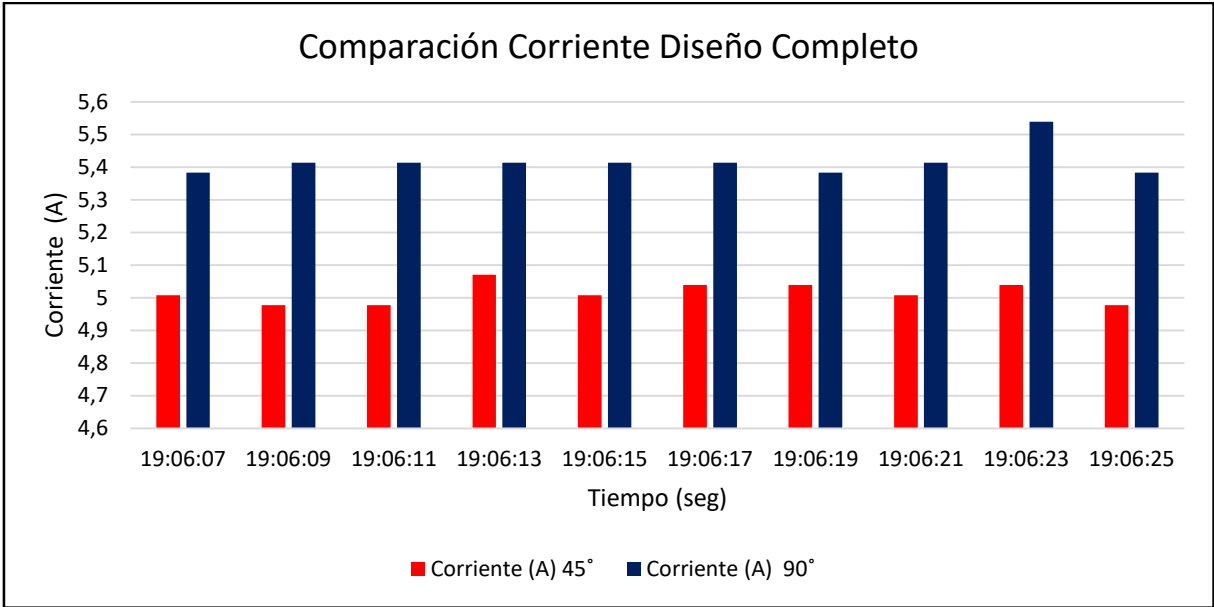


Figura 5.22. Comparación Corriente Diseño Completo

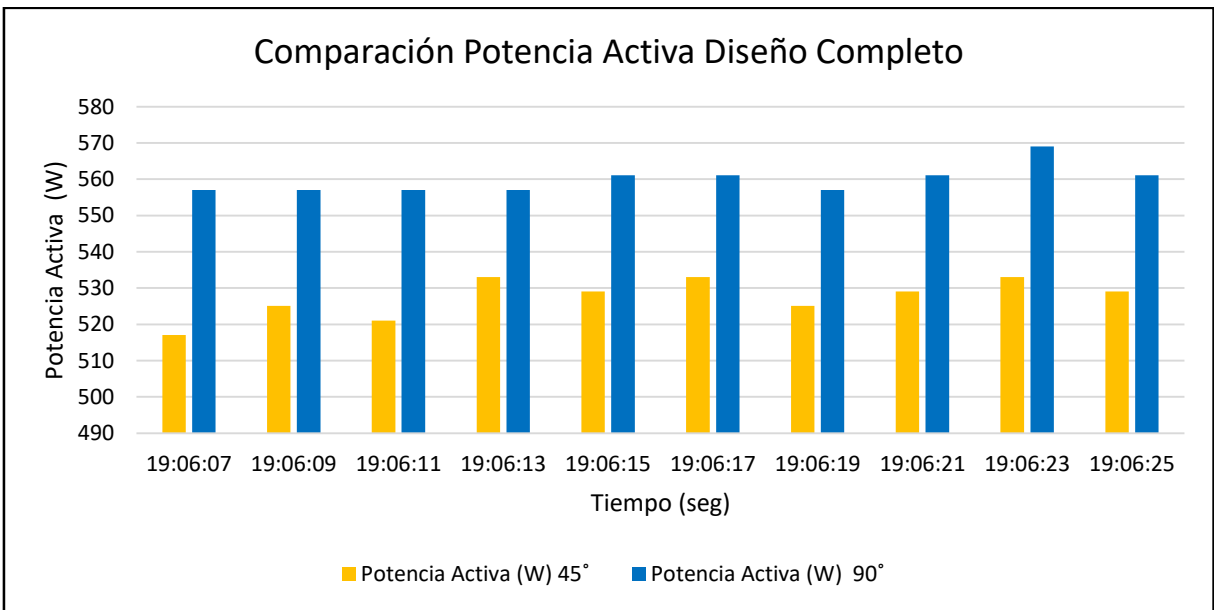


Figura 5.23. Comparación Potencia Activa Diseño Completo

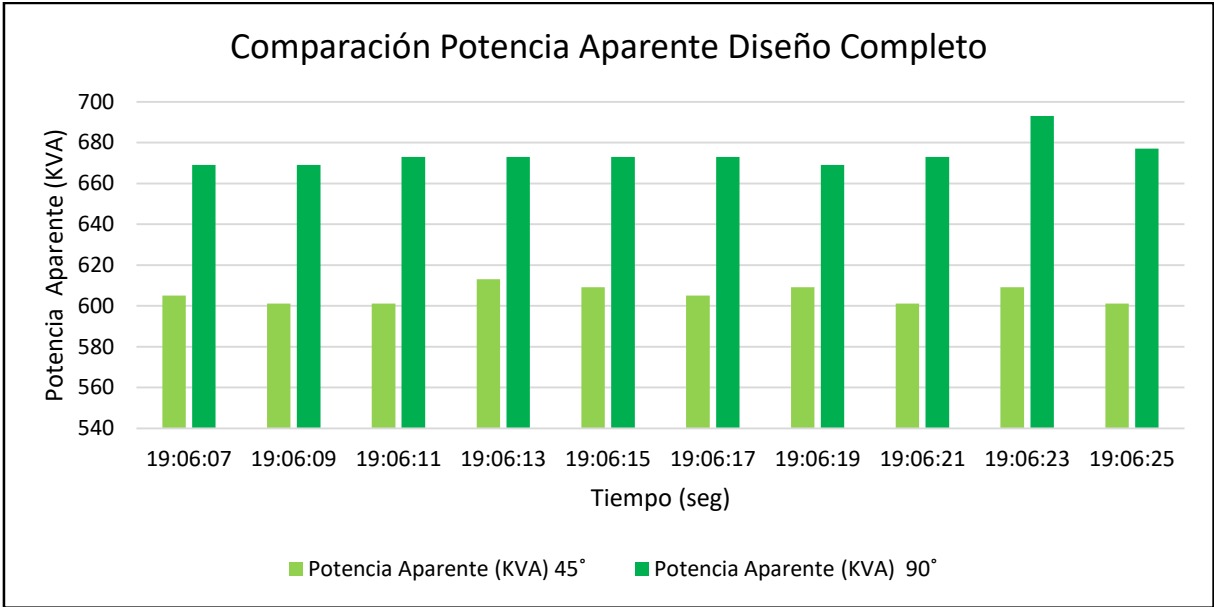


Figura 5.24. Comparación Potencia Aparente Diseño Completo

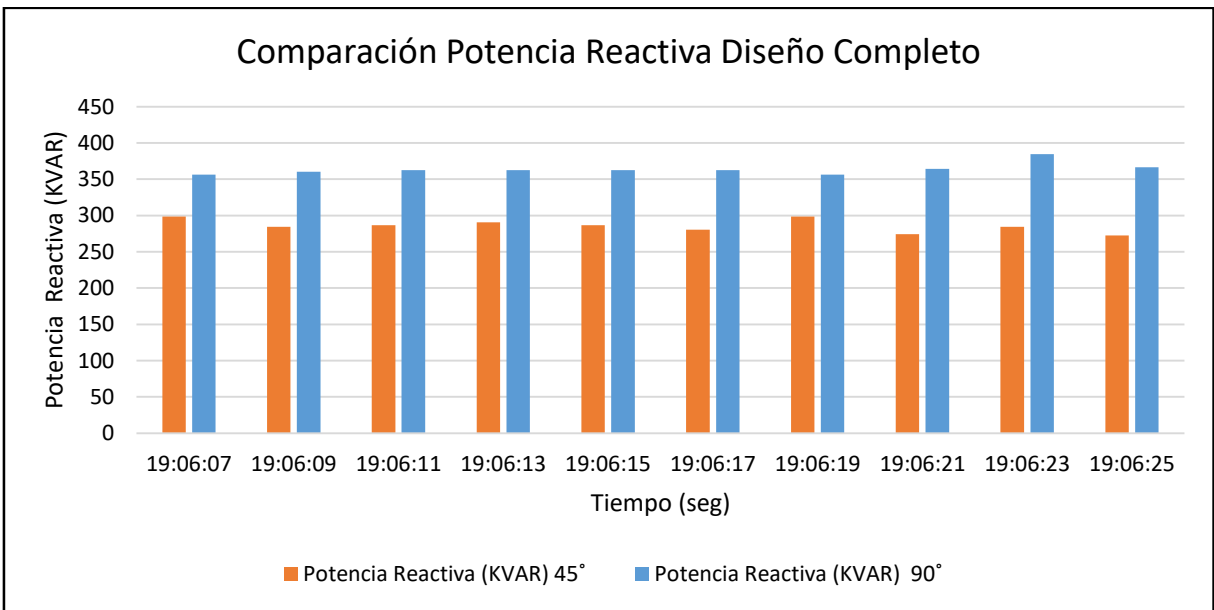


Figura 5.25. Comparación Potencia Reactiva Diseño Completo

6. PRESUPUESTO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Tabla 6.1. Presupuesto materiales Eléctricos

PRESUPUESTO MATERIALES ELÉCTRICOS			
NOMBRE	CANT	V/UND	V/TOTAL (\$)
Tablero Eléctrico	1	30	30
Contactador LS S/Bobina 9Amp	1	6,96	6,96
Bobina LS Para MC9/12/18/22 110VAC	1	7,03	7,03
Relé Térmico LS MT-32 4-6 Amp	1	26,71	26,71
Selector 22MM Plástico 2 Posiciones	1	1,52	1,52
Selector 22MM Metálico 2 Posiciones	1	1,91	1,91
Breaker Schneider Riel Dim 1 Polo 10 Amp	1	3,36	3,36
Base Para Fusible 10x38MM	1	1,45	1,45
Paro De Emergencia C/Retención	1	2,14	2,14
Fusible Cerámico 10x38 Tipo GG CSC 10 Amp	1	0,33	0,33
Luz Piloto 16MM 220V Rojo	1	1,04	1,04
Luz Piloto 16MM 110V Verde	2	1,34	2,68
Trans. De Corriente MFO 30/5A Camsco	1	9,27	9,27
Enchufe Aéreo Vinyl 2 Patas Cooper	1	2,01	2,01
Conector Rj45 Cat6	6	0,08	0,48
Switch 5 Puertos 10/100/1000MBPS Tp-Link	1	17,27	17,27
Voltímetro CNC 22MM 20-500V Verde	1	2,87	2,87
Prensa Estopa PG9 9MM	1	0,5	0,5
Espiral Dexon 12MM 1/2 Blanco	1	1,34	1,34
Terminal Puntera Amarillo 18-16 Awg	100	0,01	1
Plaquetas Adhesivas Blanca	10	0,13	1,3
Bornera Legrand 12AWG 20Amp	6	1,28	7,68
Bornera Legrand 8AWG 55Amp	9	1,87	16,83
Sentron Pac 4200	1	350	350
Sensores de Caudal SUP-LWGY	3	269	807

Sensor de presión HK3022	1	45	45
Panel KTP400 Basic	1	350	350
Módulo de entradas analógicas SM 1231	1	450	450
PLC SIEMENS S7-1200	1	350	350
NOMBRE	CANT(mts)	V/UND	V/TOTAL (\$)
Cable UTP Cat6 Panduit	1	0,74	0,74
Cable Flexible Conelsa #18	4	0,13	0,52
Cable THHN Flexible Centelsa #18	4	0,14	0,56
Cable Concéntrico SJT 600v 2x18AWG Centelsa	11	0,45	4,95
SUBTOTAL 12%			2504,45
IVA 12%			300,534
TOTAL (\$)			2804,984

Tabla 6.2. Presupuesto materiales mecánicos

PRESUPUESTO MATERIALES MECÁNICOS			
NOMBRE	CANT	V/UND	V/TOTAL (\$)
Neplo polimex 1" x 4"	14	0,46	6,44
Válvula PVC de 1" de diámetro	3	5,35	16,05
Codo polimex de 1" x 90°	11	1,6	17,6
Cruz polimex de 1"	1	1,8	1,8
Bushing polimex de 1" a 1/2"	2	1,14	2,28
Neplo polimex 1/2" x 4"	5	0,37	1,85
Universal polimex 1/2"	4	1,1	4,4
Universal polimex 1"	5	4,3	21,5
Universal polimex 1 1/2"	4	8,3	33,2
Bushing polimex de 1 1/2" a 1"	2	1,25	2,5
Neplo polimex corrido 1 1/2"	4	2,05	8,2
Válvula PVC de 1 1/2" de diámetro	3	9,6	28,8
Codo polimex de 1 1/2" x 90°	3	3,91	11,73

Codo polimex de 1 1/2" x 45°	2	4,46	8,92
Neplo polimex 1 1/2" x 4"	6	2,11	12,66
Tee polimex 1 1/2"	2	4,1	8,2
Tee polimex 1"	2	1,93	3,86
Teflón	4	0,85	3,4
Sellante	1	10,88	10,88
Válvula PVC de 1/2" de diámetro	1	1,85	1,85
Tubo de 1/2" x 6 metros	1	9,07	9,07
Tubo de 1" x 3 metros	1	10,58	10,58
Tubo de 1 1/2" x 3 metros	1	19,58	19,58
Neplo polimex corrido 1"	2	0,89	1,78
SUBTOTAL 12%			247,13
IVA 12%			29,6556
TOTAL (\$)			276,7856

GASTOS ASOCIADOS			
NOMBRE	CANT	V/UND	V/TOTAL (\$)
Alquiler de soldadura	3	20	60
Transporte	2	10	20
Copias	60	0,2	12
Internet	10	0,5	5
SUBTOTAL 12 %			97
IVA 12%			11,64
TOTAL (\$)			108,64

Tabla 6.3. Presupuesto total

COSTO TOTAL DEL PROYECTO	
COMPONENTES DEL COSTO	VALOR (\$)
Materiales Eléctricos	2804,984
Materiales Mecánicos	276,7856
Gastos Imprevistos	108,64
TOTAL (\$)	3185,0096

6.1. CÁLCULO TIR Y VAN

Tabla 6.4. Cálculo TIR Y VAN

Año	Inversion	Ingresos	Mantenimiento	TOTAL
0	3185,0096	0	0	-3185,0096
1	20	900	40	840
2	20	900	40	840
3	20	900	40	840
4	20	900	40	840
5	20	900	40	840
6	20	900	40	840
TASA				12%
VAN				\$2.012,85
TIR				15%

Como el VAN da un resultado positivo significa que el proyecto genera rentabilidad y es aceptable. Se obtiene una TIR del 15% que comparado a la tasa del 12% significa que se encuentra por encima de la mínima exigible. Dicho esto se concluye que el proyecto es rentable.

7. CONCLUSIONES

- La automatización del módulo hidráulico está basada en información recopilada mediante documentación bibliográfica y artículos de orden científico sobre parámetros eléctricos e hidráulicos. Además, conocer el funcionamiento, las características técnicas de los equipos eléctricos que están instalados en el módulo, esta información brindan facilidad a la hora de realizar la programación y vinculación de estos equipos los cuales permitieron visualizar, medir y monitorear los parámetros mencionados anteriormente
- Con ayuda del PLC S7-1200 se logra controlar los dispositivos de medición y monitoreo los cuales cumplen sus funciones de automatización con alta precisión. Mediante el protocolo Modbus TCP se logra transmitir información del monitoreo de los parámetros eléctricos.
- Mediante la implementación del SENTRON PAC 4200 se mide, recopila datos de parámetros eléctricos como: voltaje, corriente, factor de potencia, armónicos, dependiendo del sistema al que se encuentre conectado, en este caso a la bomba.
- Durante las prácticas de laboratorio se concluye que cuando se abren las cinco válvulas el sistema se encuentra trabajando en su totalidad, pero el Tramo uno no recibe fluido debido a la altura en que se encuentra y la potencia de la bomba, por lo tanto no se obtienen mediciones de parámetros hidráulicos.
- El máximo consumo de la bomba se presenta al realizar la práctica en el Tramo uno con la apertura de su válvula a 45°, ya que su diámetro es menor circula menos caudal que los otros tramos y por lo tanto la bomba consume mayor potencia activa.
- Al analizar los datos obtenidos en tiempo real en el módulo hidráulico mediante la apertura en distintas posiciones de las válvulas en cada tramo de tubería se observa que el caudal y la presión siempre varían.
- Las pérdidas por tubería se producen debido a la longitud, diámetro, propiedades del agua y características del material PVC, mientras que las pérdidas por accesorios dependerá del coeficiente “K” de cada elemento instalado a lo largo de los tramos.
- Después de todas las pruebas realizadas se concluye que el tramo uno con diámetro de 1/2” y al estar abierta su válvula a 45° posee mayores pérdidas en tubería y accesorios respecto a los otros tramos.

- Es importante conocer los costos de los equipos eléctricos y materiales mecánicos que conforman el módulo. Estos costos tienen un papel importante en el proceso de toma de decisiones económicas, por lo tanto ayudan a que el proyecto sea viable.

8. RECOMENDACIONES

- Vincular dispositivos eléctricos de automatización que son de la misma marca, brinda facilidad al emparejar los mismos ya que poseen los mismos protocolos de comunicación.
- Al momento de realizar la programación se debe ordenar y diferenciar si son bloques de datos, principales, de función, de cálculo para evitar confusiones al momento de ejecutar el programa.
- Al momento de realizar las prácticas se debe verificar que las válvulas de mantenimiento y de los tramos se encuentren abiertas para de esta manera evitar accidentes y daños en los equipos eléctricos e hidráulicos por incrementos de presión en tuberías.
- Se debe tomar en cuenta el coeficiente “K” de cada elemento instalado para obtener resultados precisos ya que varía dependiendo el diámetro de cada tubería.
- Se debe direccionar de forma correcta los datos que son monitoreados por el SENTRON PAC 4200 con los nombres que se encuentran en el catálogo. Por ello en el PLC se crea un bloque de datos para poder leerlos.

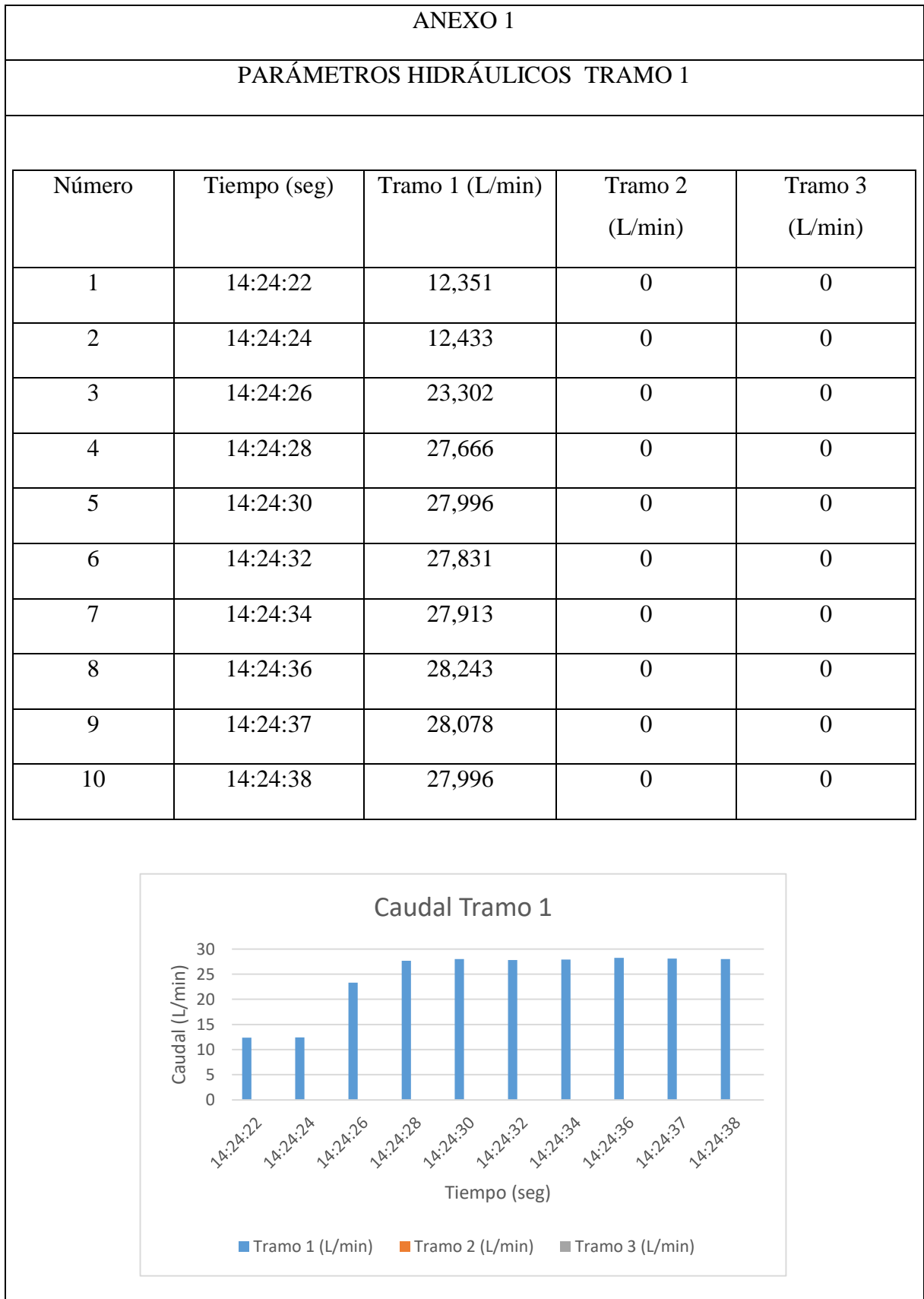
9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] T. Edwin, "Implementacion de un modulo didactico de fluido hidraulico para la vizualizacion y analisis de perdida por friccion en tuberia en el laboratorio de ingenieria electromecanica de la Universidad Tecnica de Cotopaxi periodo 2017," Universidad Tecnica de Cotopaxi, Latacunga 2017.
- [2] Y. M. Lopez Luis "Diseño e implementación de un laboratorio virtual para medir caída de presión y obtener datos en tiempo real usando labview y visual basic para mecánica de fluidos," Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, 2015.
- [3] O. V. M. ANTONIO and Q. S. K. GISSEL, ""AUTOMATIZACIÓN DEL BANCO DE PÉRDIDAS DEL LABORATORIO DE TURBOMAQUINARIA DE LA FACULTAD DE MECÁNICA," ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2013.
- [4] J. Jose, "Diseño e implementación de un HMI para el monitoreo, almacenamiento y validación de datos en el sistema de pruebas de sellos de motores de bombas electro sumergibles de la planta artificial lift de la empresa baker hughes Ecuador," Escuela Politecnica Nacional, Quito, 2016.
- [5] D. A. H. Enriqueta, "Conceptos Hidraulica," in *Hidraulica*Hidalgo, 2014.
- [6] S. T. D. Alonso, in *Mecanica de Fluidos Avanzada*Indiana, 2020.
- [7] D. Agustin, "Introduccion a los fluidos " in *Apuntes de Mecanica de Fluidos* San Francisco 2011.
- [8] T. G. Teran Hector, Arteaga Oscar,Sanchez Wilson, "Definiciones," in *Mecanica de fluidos*Sangolqui, 2018.
- [9] Z. Marcos, "Estimacion de perdidas de carga en tuberias a presion mediante un modelo hidraulico de laboratorio," Universidad Estatal de Manabi Jipijapa, 2019.
- [10] M. Claudio, "Hidrodinamica," in *Mecanica de Fluidos y maquinas Electricas*, E. d. Castillo, Ed. Madrid, 2014.
- [11] J. P. Calderon, Christian, "Diseño y construcción de un banco de pruebas para pérdidas de carga en tuberías y accesorios con simulación," Quito, 2011.
- [12] J. P. P. Pedraza, "Modelación de Flujo Turbulento Hidráulicamente Liso en Tuberías Largas de PVC," Universidad de los Andes, Bogota, 2013.
- [13] C. Alexander, "Conceptos Basicos " in *Circuitos Electricos*, M. Grawhill, Ed. Mexico, 2010.
- [14] T. Floyd, "Energia y Potencia," in *Principios de circuitos Electricos*, Pearson, Ed. Mexico, 2017.
- [15] C. Cristobal, "Diseño e implementación de un analizador espectral de señales de voltaje y corriente para la obtención de valores dc, rms, thd, factor de potencia, potencia activa, reactiva, aparente," Escuela Politecnica Nacional, Quito, 2019.
- [16] R. S. Ramos Erik, "Análisis de la eficiencia energética y calidad de la energía eléctrica en la planta industrial de procesamiento de alimentos agroindustrias cirnma s.r.l. en la región puno," Universidad nacional del Altiplano Puno 2018.
- [17] P. Juan, "Automatismos Electricos Neumaticos e Hidraulicos " 2012.
- [18] C. Jesus, "Principios de Automatizacion," in *Automatismos Electricos Neumaticos e Hidraulicos* España, 2010.
- [19] J. L. V. Aldás, ""Sistema de Control Automático para el Posicionamiento de una Silla de Ruedas Eléctrica," Universidad Tecnica de Cotopaxi, Ambato, 2014.
- [20] L. F. C. Lema, "Sistemas de control de lazo abierto y cerrado de voltaje para determinar el error en estado estable a diferentes pulsos de entrada en el laboratorio de control y automatización de la FICM," Universidad Tecnica de Ambato, Ambato, 2015.

- [21] R. A. Cruz Juan, "Diseño y Fabricacion de un sistema hidraulico de presion constante ", Universidad Santo Tomas Bogota, 2017.
- [22] C. Jorge, "Controladores " in *Controladores electricos y automatizacion*, 2011.
- [23] Y. A. Martinez Maria, "Construccion de una bancada didactica para el PLC SIEMENS S7-1200 con interfaz HMI touch," Escuela Superior Politecnica de Chimbrazo 2012.
- [24] D. E. Gallegos Jefferson "Diseño e implementacion de una red industrial modbus para el control de actuadores trifasicos en el laboratorio de fabricacion flexible ", Universidad Politecnica Saleciana Guayaquil 2015.
- [25] S. B. Ortiz Hernan "Simulación de procesos industriales mediante la implementación de un tablero de control con el protocolo de comunicación Profibus Dp," Universidad Nacional de Chimborazo Riobamba, 2020.
- [26] T. C. Toasa Rodrigo, "Diseño y construcción de un sistema medidor de flujo de combustible con visualizador consumo vs. recorrido, para vehículos a gasolina con sensor de caudal," Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Riobamba, 2013.
- [27] L. L. J. Ramon, "Calibracion de instrumentos de medicion de flujo para conductos cerrados ", Universidad se San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2011.
- [28] Tecfluid, "Caudalímetros de turbina serie TM," DASTEC, Ed., ed. Argentina, 2021.
- [29] S. d. l. Hervas, "Bombas Hidraulicas," in *Fluidos, Bombas e instalaciones hidraulicas* Barcelona, 2011.
- [30] A. O. Valencia Guillermo , Duarte Jorge "Desarrollo de una metodología para la predicción de curvas características en bombas periféricas," 2020.
- [31] M. Oswaldo, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN TABLERO SIMULADOR PARA PLC SIEMENS S7-1200 Y DESARROLLO DE GUÍAS DE PRÁCTICAS," Universidad Nacional de Loja Loja, 2015.
- [32] P. O. Oñate Carlos, "Diseño e implementación de un módulo para el proceso de clasificación de piezas controlado mediante un plc siemens s7-1200," Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, 2013.
- [33] SIEMENS, "Hoja de Datos SIMATIC S7-1200, módulo de entradas analógicas, SM 1231, 4 AI," ed, 2021.
- [34] SIEMENS, "Componentes del KTP400 Basic Color PN," in *Simatic HMI paneles de Operador Basic Panels* 2012.
- [35] S. Automation. (2021). *Caudalímetro de turbina SUP-LWGY*. Available: <https://www.directindustry.es/prod/supmea-automation/product-222738-2377356.html>
- [36] M. Jorge, "“Diseño, instalación y control automático de equipo para el procesamiento de semillas forrajeras de alfalfa y trébol en la planta piloto de la comunidad de Pungal Grande Guano Chimborazo”," ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, 2015.
- [37] Metasol, "Contactors (22AF)," K. INDUSTRIES, Ed., ed, 2021.
- [38] L. Jorge, "IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DE PRUEBA DE RELES DE PROTECCION," UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, Cartagena, 2015.
- [39] V. ENERGIA, "Relé Térmico METASOL MT32," ed. Santiago de Chile 2018.
- [40] P. Darwin, "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI SEDE LA MANÁ, DEL CANTÓN LA MANÁ, PROVINCIA DE COTOPAXI, AÑO 2013," UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, La Mana 2013.
- [41] Suconel, "Fusible Cerámico De 10A 10X38 mm 10×3810," ed. Colombia 2020.
- [42] S. Electric, "A9F74110 Interruptor Termomagnético Riel Acti 9 iC60N 1P 10 A Curva C 6 kA," ed. Peru, 2021.

- [43] J. A. V. loor, "Diseño una propuesta de mejoramiento en la infraestructura de red de datos en la ESPAM MFL con calidad de servicio," PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR, Quito, 2016.
- [44] D. L. B. N. f. people, " DES-1005C/1008C," ed, 2015.
- [45] ADAJUSA, "VOLTÍMETRO DIGITAL DE PANEL 60-500VCA CIRCULAR 22MM AD16-22DSV-XX," ed. Madrid, 2019.
- [46] R. P. Peñafiel Danny "Diseño y montaje de fuente conmutada para alimentacion de convertidor multinivel ", Universidad Politecnica Saieciana Cuenca, 2013.
- [47] S. Rodriguez, "Creación de Casos de Estudio para Aprendizaje de PLCs Mediante Sistemas Virtuales," Universidad Internacional SEK Quito, 2020.
- [48] E. A. L. David, " Desarrollo de una base de datos utilizando Tia portal v15 para registro de variables físicas," ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2019.

10. ANEXOS



ANEXO 2

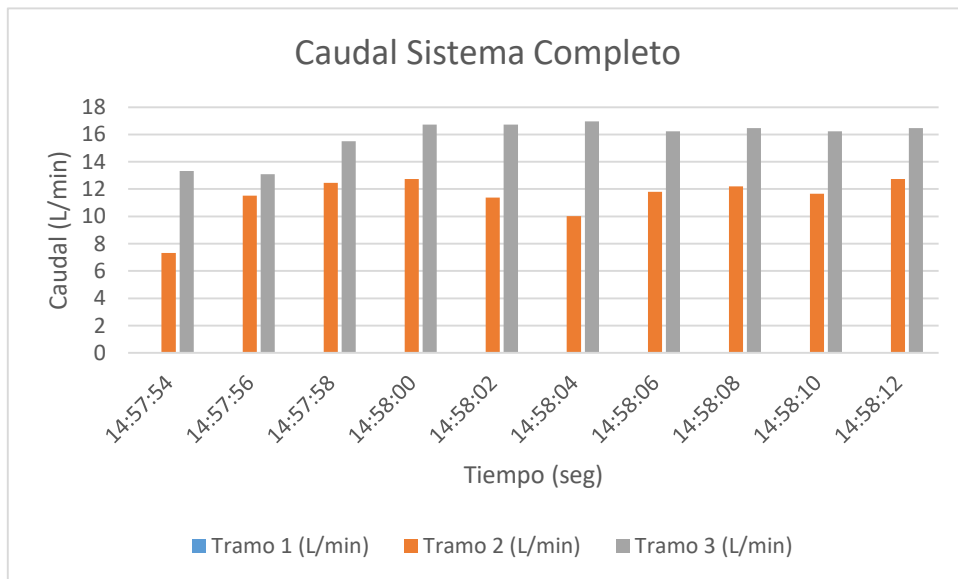
PARÁMETROS ELÉCTRICOS TRAMO 1

Número	Tiempo (seg)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Activa (W)	Potencia Aparente (KVA)	Potencia Reactiva (KVAR)	Frecuencia (Hz)	Factor de Potencia
1	14:24:22	119.126	4.664	486.527	557.061	258.495	60.026	0.8717
2	14:24:24	118.126	4.914	521.053	581.062	239.247	60.026	0.8991
3	14:24:26	118.626	5.133	557.053	609.063	234.247	60.026	0.9130
4	14:24:28	120.126	5.258	565.054	629.063	262.495	60.026	0.8980
5	14:24:30	122.126	5.414	577.056	661.063	304.495	60.026	0.8767
6	14:24:32	120.626	5.258	569.055	637.063	270.495	60.026	0.8947
7	14:24:34	121.126	5.320	573.055	645.063	286.495	60.038	0.8864
8	14:24:36	121.126	5.289	573.055	645.063	280.495	60.038	0.8904
9	14:24:37	122.126	5.383	581.056	657.063	300.495	60.038	0.8799
10	14:24:38	122.126	5.352	577.055	653.063	292.495	60.038	0.8850

ANEXO 3

PARÁMETROS HIDRÁULICOS SISTEMA COMPLETO

Número	Tiempo (seg)	Tramo 1 (L/min)	Tramo 2 (L/min)	Tramo 3 (L/min)
1	14:57:54	0	7,3170	13,328
2	14:57:56	0	11,518	13,086
3	14:57:58	0	12,466	15,509
4	14:58:00	0	12,737	16,721
5	14:58:02	0	11,382	16,721
6	14:58:04	0	10,027	16,963
7	14:58:06	0	11,789	16,236
8	14:58:08	0	12,195	16,478
9	14:58:10	0	11,653	16,236
10	14:58:12	0	12,737	16,478



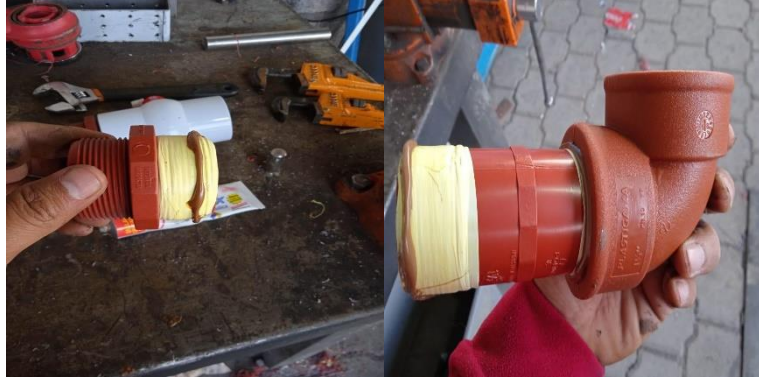
ANEXO 4

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DISEÑO COMPLETO

Número	Tiempo (seg)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia Activa (W)	Potencia Aparente (KVA)	Potencia Reactiva (KVAR)	Frecuencia (Hz)	Factor de Potencia
1	14:57:54	121.626	5.102	525.056	617.062	316.494	59.960	0.8482
2	14:57:56	121.626	5.102	529.056	621.062	312.494	59.960	0.8527
3	14:57:58	121.626	5.133	533.056	625.062	312.494	59.960	0.8541
4	14:58:00	120.626	5.070	529.055	613.06	292.495	59.960	0.8664
5	14:58:02	120.626	5.070	529.055	613.062	292.495	59.994	0.8658
6	14:58:04	120.626	5.039	529.055	609.062	286.495	59.994	0.8693
7	14:58:06	120.626	5.008	525.055	605.062	282.495	59.994	0.8732
8	14:58:08	119.626	4.945	521.054	589.062	264.495	59.994	0.8824
9	14:58:10	119.626	4.977	521.055	597.062	272.495	59.994	0.8779
10	14:58:12	119.626	4.945	517.055	589.062	266.495	59.994	0.8795

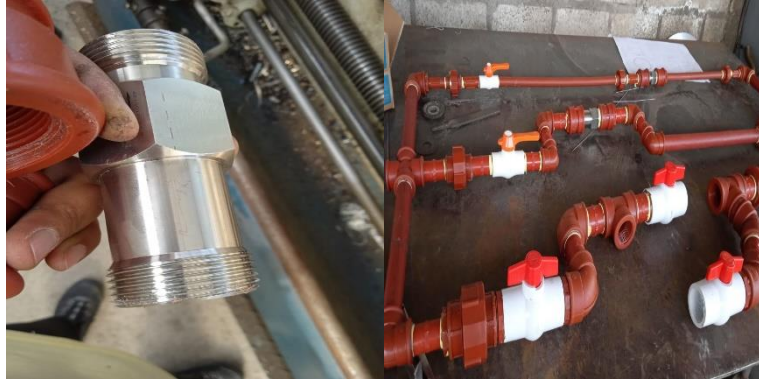
ANEXO 5

CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL MÓDULO HIDRÁULICO



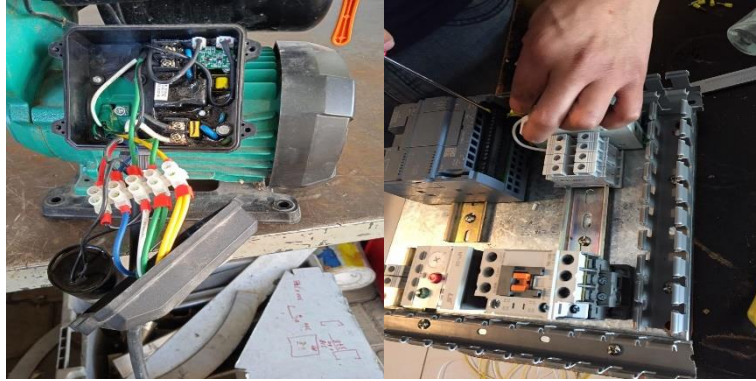
ANEXO 6

CONSTRUCCIÓN MECÁNICA DEL MÓDULO HIDRÁULICO



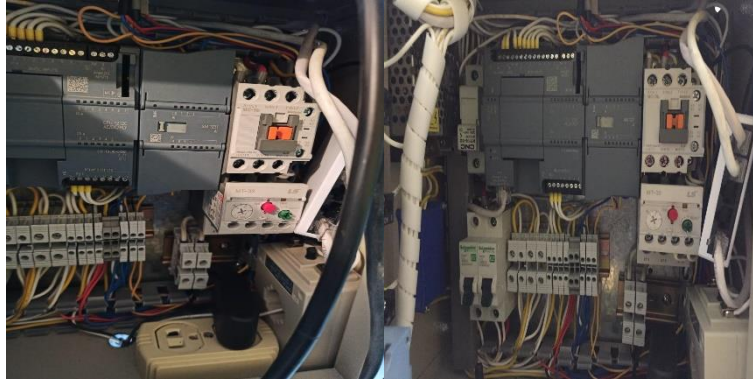
ANEXO 7

CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA



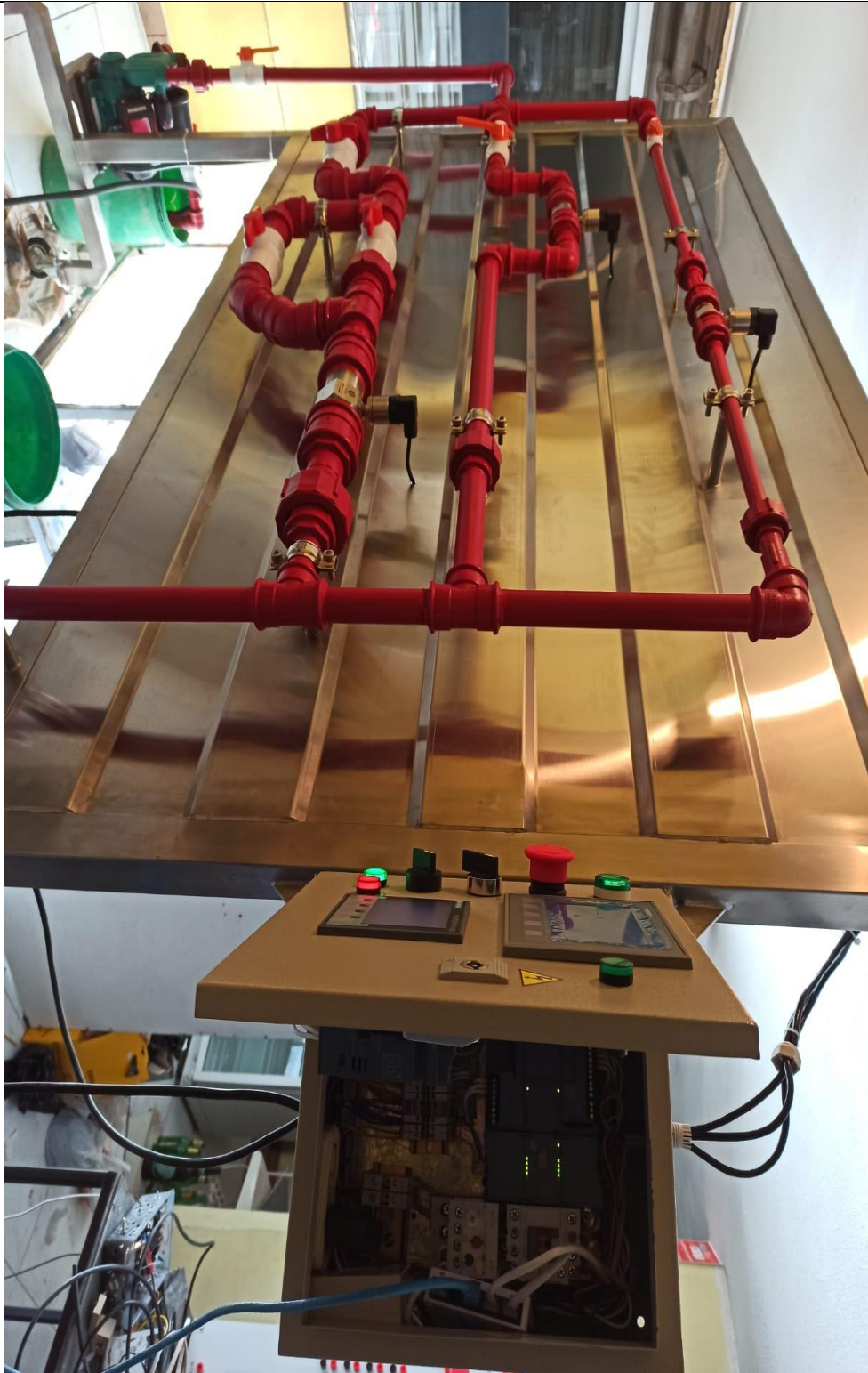
ANEXO 8

CONSTRUCCIÓN ELÉCTRICA



ANEXO 9

MÓDULO COMPLETO



ANEXO 10

N° de Diámetros (L/D) y coeficientes K para diferentes accesorios

Accesorios	Diámetro nominal (en pulgadas)													
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2-3	4	6	8-10	12-16	18-24		
	Valores de K													
	L/D													
Válv. de compuerta(abierta)	8	0.22	0.2	0.18	0.18	0.15	0.15	0.14	0.14	0.12	0.11	0.1	0.1	
Válv. de globo(abierta)	340	9.2	8.5	7.8	7.5	7.1	6.5	6.1	5.8	5.1	4.8	4.4	4.1	
Válv. de retención horizontal(check)	100	2.7	2.5	2.3	2.2	2.1	1.9	1.8	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	
Válv. de retención horizontal oscilatoria(check)	50	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	0.75	0.7	0.65	0.6	
Válv. de pie de disco de huso con colador	420	11.3	10.5	9.7	9.3	8.8	8.0	7.6	7.1	6.3	5.9	5.5	5.0	
Válv. de pie de disco con bisagra	75	2	1.9	1.7	1.7	1.7	1.4	1.4	1.3	1.1	1.1	1.0	0.9	
Codos estándar	90°	30	0.81	0.75	0.69	0.66	0.63	0.57	0.54	0.51	0.45	0.42	0.39	0.36
	45°	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
	90° radio largo	16	0.43	0.4	0.37	0.35	0.34	0.3	0.29	0.27	0.24	0.22	0.21	0.19
Curvas de 90°	180°	50	1.35	1.25	1.15	1.10	1.05	0.95	0.9	0.85	0.75	0.7	0.65	0.6
		20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24
T en línea (con derivación en la línea principal y lateral cerrada)	20	0.54	0.5	0.46	0.44	0.42	0.38	0.36	0.34	0.3	0.28	0.26	0.24	
T en línea (con circulación por derivación)	60	1.62	1.5	1.38	1.32	1.26	1.14	1.08	1.02	0.9	0.84	0.78	0.72	

ANEXO 11

Densidad Relativa y Viscosidad cinemática de algunos líquidos

(Viscosidad cinemática = valor de la tabla $\times 10^{-6}$)

Temp. °C	Agua**		Disolvente comercial		Tetracloruro de carbono		Aceite lubricante medio	
	Densid. relat.	Visc. cinem. m ² /seg	Densid. relat.	Visc. cinem. m ² /seg	Densid. relat.	Visc. cinem. m ² /seg	Densid. relat.	Viscos. cinem. m ² /seg
5	1,000	1,520	0,728	1,476	1,620	0,763	0,905	471
10	1,000	1,308	0,725	1,376	1,608	0,696	0,900	260
15	0,999	1,142	0,721	1,301	1,595	0,655	0,896	186
20	0,998	1,007	0,718	1,189	1,584	0,612	0,893	122
25	0,997	0,897	0,714	1,101	1,572	0,572	0,890	92
30	0,995	0,804	0,710	1,049	1,558	0,531	0,886	71
35	0,993	0,727	0,706	0,984	1,544	0,504	0,883	54,9
40	0,991	0,661	0,703	0,932	1,522	0,482	0,875	39,4
50	0,990	0,556					0,866	25,7
65	0,980	0,442					0,865	15,4

MANUAL DE USUARIO



“AUTOMATIZACIÓN DE UN MÓDULO DE TRANSPORTE DE FLUIDO HIDRÁULICO PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA HIDRÁULICA DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI EN EL PERIODO 2021”



Autores: Armas Gavilanes Kevin Johannes

Toapanta Jiménez Boris Sebastián

PASOS DE PREVIO A LA OPERACIÓN DEL MÓDULO

1. Previo a la utilización del módulo el estudiante debe poseer conocimientos teóricos sobre electricidad e hidráulica.
2. Asegúrese de conservar el módulo libre de humedad, suciedad y polvo.
3. No lo operar en entornos contaminados por fluidos inflamables y gases.
4. Verificar que la manguera de recirculación esté conectada al tanque de agua y este a la vez se encuentre con suficiente líquido y libre de escombros para el funcionamiento del mismo.
5. Antes de poner en marcha la bomba, se debe verificar que las válvulas de los distintos tramos se encuentren abiertas como se visualiza en la figura 1. para evitar incrementos de presión que previenen accidentes. En la figura 2 se visualiza la válvula cerrada.



Figura 1. Válvula Abierta






Figura 2. Válvula cerrada

6. Se debe conectar el módulo a la red eléctrica de 110V.

SEÑALIZACIÓN DEL TABLERO DE CONTROL

Tabla 1. Elementos de señalización

Nombre	Elemento
Voltímetro	
Paro de Emergencia	
Selector	

Luz piloto	
SETRON PAC 4200	
Panel KTP400 Basic	

ACCIONAMIENTO DEL TABLERO

7. En el interior del tablero de control se encuentran los Breakers, el de la bomba que es el de la derecha, y del PLC en la parte izquierda.
8. Accionar los breakers de la bomba y el PLC para encender el módulo como se visualiza en la figura 3.

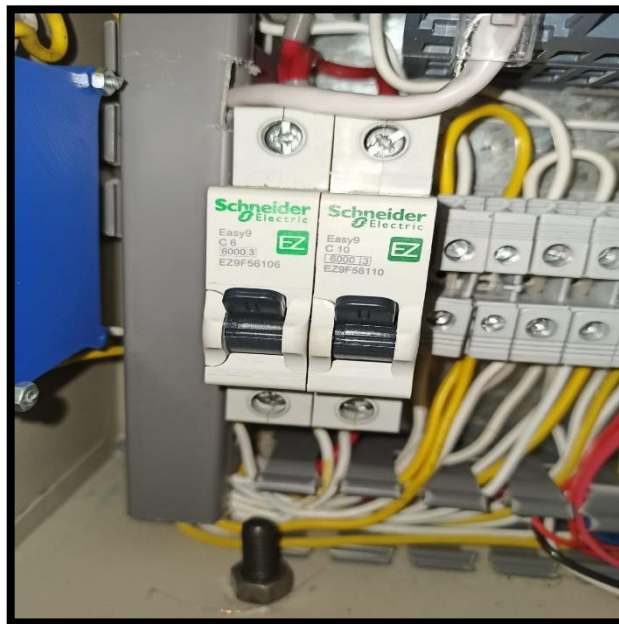


Figura 3. Accionamiento de los Breakers

PANTALLA PRINCIPAL

9. En la pantalla principal se consideró un fondo color azul donde se observa información como: logos, nombre de la universidad, título del proyecto, nombres de los autores, botones principales de monitoreo, hora y fecha, se visualiza en la figura 4.

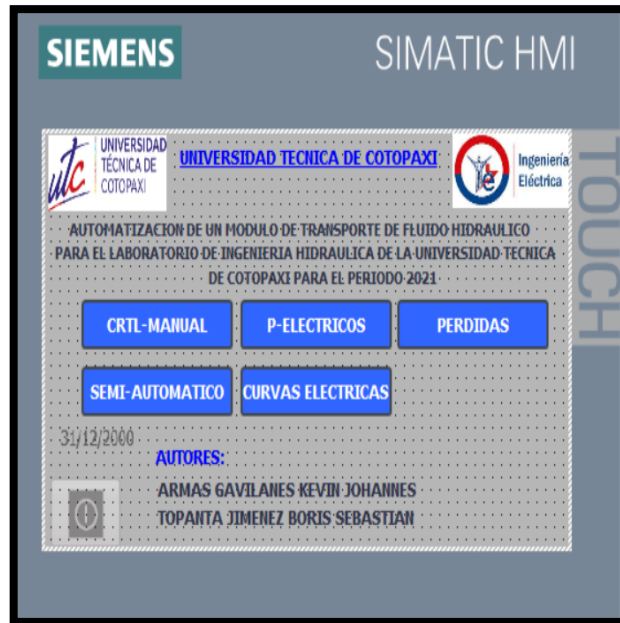


Figura 4. Pantalla principal

FUNCIONAMIENTO CONTROL MANUAL

10. Al seleccionar la opción “Control manual” se visualizan el botón ON/OFF de la bomba, un paro de emergencia y parámetros hidráulicos como caudal en L/min y presión en PSI. Además se enlaza a otras ventanas que muestran las pérdidas en accesorios y tuberías, una opción que muestra las curvas del caudal en función del tiempo, se visualiza en la figura 5.

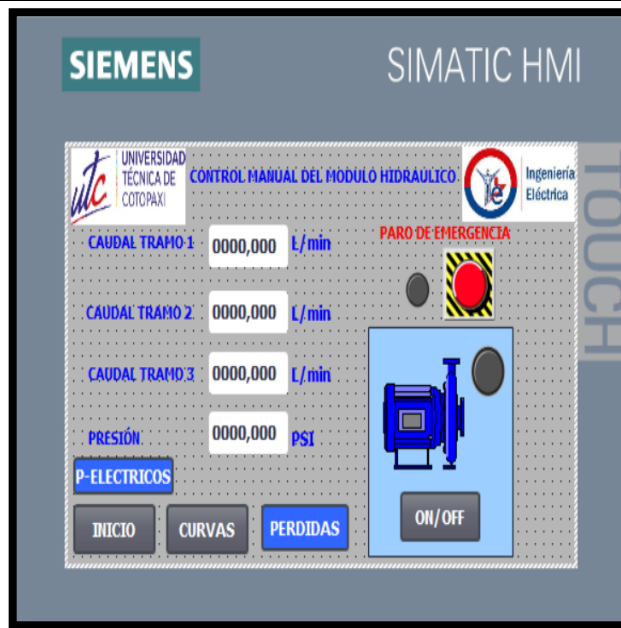
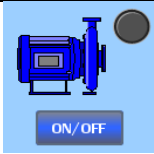



Figura 5. Ventana del Control Manual

Tabla 1. Botones Control Manual

Acción	Gráfico
Accionamiento Bomba	
Paro de Emergencia	

VENTANA PARÁMETROS ELÉCTRICOS

11. En la opción “Parámetros eléctricos” se visualiza: voltaje, corriente, frecuencia, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, como se muestra en la figura 6.

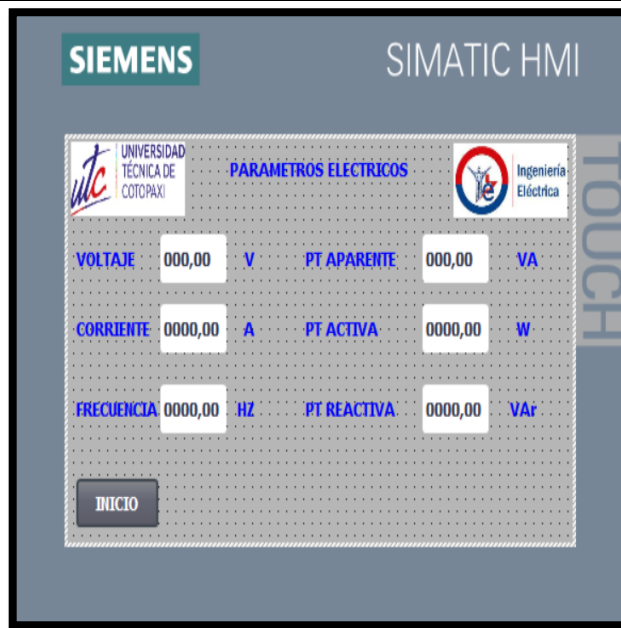


Figura 6. Ventana de Parámetros Eléctricos

VENTANA PÉRDIDAS HIDRÁULICAS

12. Muestra las pérdidas por fricción en tubería y accesorios, esto dependerá del caudal que fluya en cada tramo, además se puede visualizar sus curvas, se observa en la figura 7.

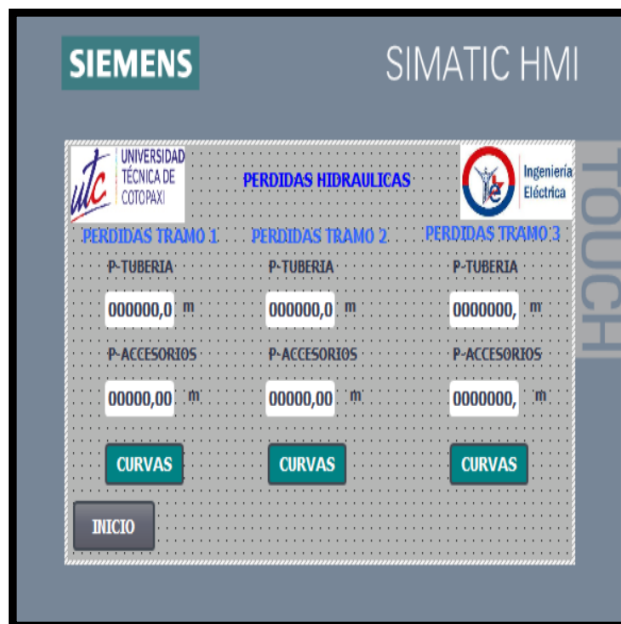


Figura 7. Ventana de Pérdidas Hidráulicas

FUNCIONAMIENTO CONTROL SEMIAUTOMÁTICO

13. Al seleccionar la opción “Control Semiautomático” se visualiza un esquema digital del módulo donde se obtiene el valor de los parámetros hidráulicos en cada tramo, una opción que muestra las curvas del caudal en función del tiempo, además cuenta con la opción de crear un archivo de datos enlazado a la red del PLC S7-1200, paro de emergencia, una opción para enlazarse a la ventana donde se visualiza las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios, la opción del consumo total del caudal durante el tiempo determinado por el usuario y el ON/OFF de la bomba se visualiza en la figura 8.

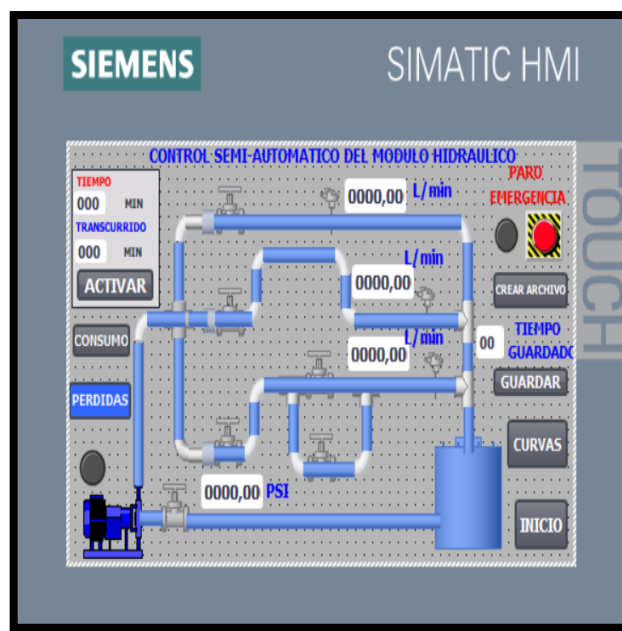








Figura 8. Esquema módulo Hidráulico en el Panel KTP400 Basic

Tabla 2. Botones Control Semiautomático

Acción	Gráfico
Accionamiento Bomba	
Paro de Emergencia	

Consumo del Caudal en un tiempo determinado	
Al presionar en la pantalla en blanco se ingresa el tiempo de funcionamiento	
Botón Guardar	
Botón Crear Archivo	

VENTANA CURVAS ELÉCTRICAS

14. Al seleccionar la opción “gráficas de parámetros eléctricos” se visualizan parámetros eléctricos con sus curvas características, además de una opción “Potencias” donde muestra parámetros de potencia activa, reactiva y aparente graficando sus curvas características ,se visualiza en la figura 9.

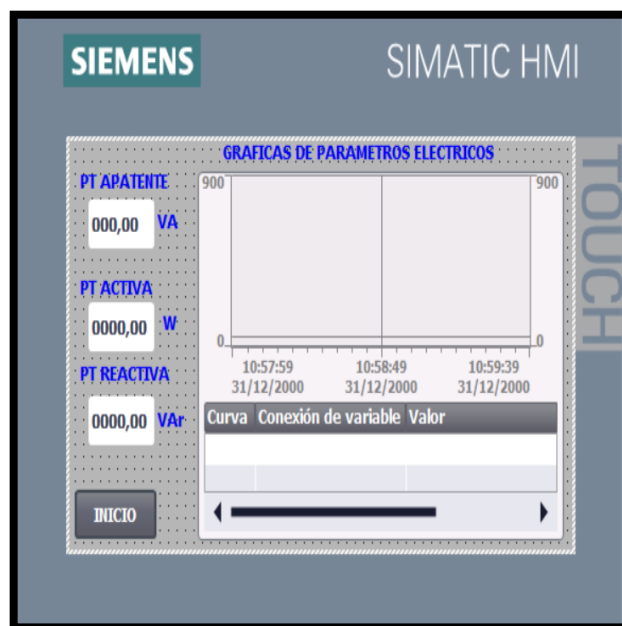


Figura 9. Ventana graficas de parámetros eléctricos

PASOS PARA CREAR Y DESCARGAR DATOS

Para obtener los valores de los parámetros eléctricos e hidráulicos el módulo siempre debe estar conectado desde el Switch que se encuentra en el interior del tablero de control a una PC la cual estará conectada al servidor de SIEMENS de la IP 192.168.100.36 cómo se visualiza en la figura 10.

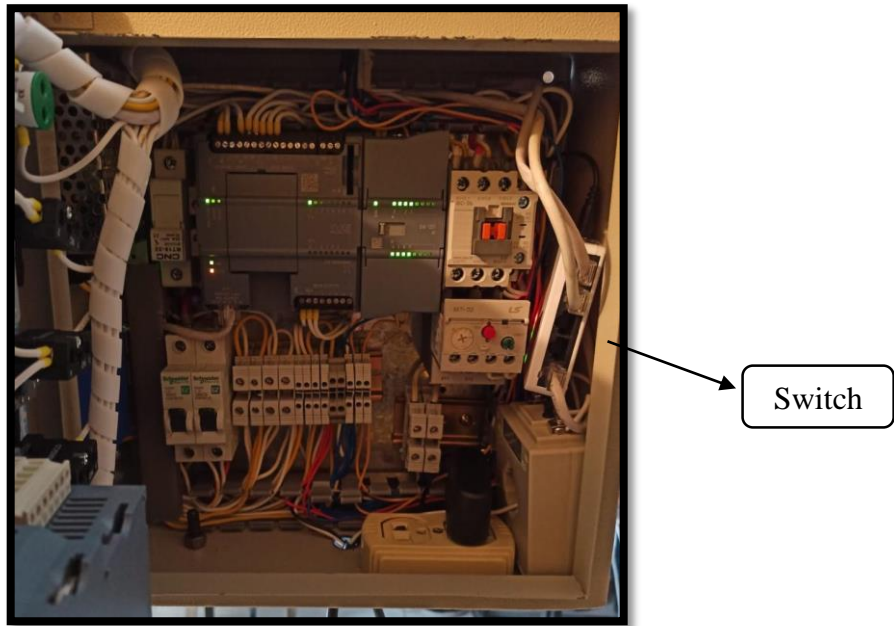


Figura 10. Ubicación del Switch

16. Para el ingreso al servidor de SIEMENS el usuario del módulo es “utc21” y su contraseña es “12345”, en el sitio web de Siemens se ingresa a la página principal donde se despliega la opción “navegador de archivos” se visualiza en la figura 11.

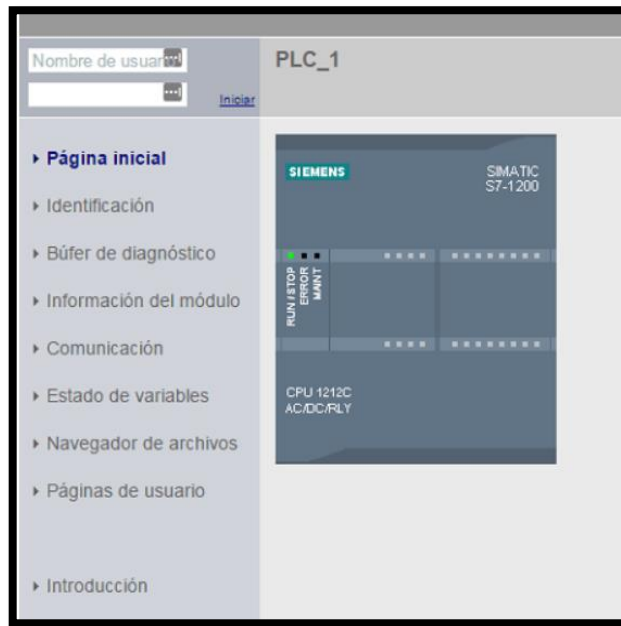


Figura 11. Servidor Web

17. El módulo debe estar en funcionamiento en la ventana de Control Semiautomático, presionar el botón CREAR ARCHIVO, se visualiza en la figura 12.



Figura 12. Botón crear archivo en CRTL Semiautomático

18. Para guardar los parámetros medidos se presiona el botón GUARDAR que se encuentra en la ventana de Control Semiautomático, se visualiza en la figura 13



Figura 13. Botón guardar en CRTL Semiautomático

19. En la figura 14 se visualiza que una vez guardados los datos se descarga el archivo generado en formato Excel con todos los parámetros de estudio.

Record	Date	UTC Time																
1	7/20/2021	18:20:27	0.000000E+00	11.214.220	20.698.050	124.126.300	5.383.319	557.057.700	669.063.200	356.494.800	60.002.850	834.741	NAN	16.146	6.877	0.000000E+00	73.92	
2	7/20/2021	18:20:29	0.000000E+00	8.853.333	19.237.010	123.626.300	5.414.569	557.057.900	669.063.200	360.494.800	60.002.850	831.931	NAN	10.676	6.050	0.000000E+00	46.07	
3	7/20/2021	18:20:31	0.000000E+00	10.771.550	18.993.510	123.626.300	5.414.570	557.057.900	673.063.200	362.494.800	59.997.150	831.114	NAN	15.047	5.917	0.000000E+00	68.20	
4	7/20/2021	18:20:33	0.000000E+00	11.509.330	18.993.510	123.626.300	5.414.570	557.057.900	673.063.200	362.494.800	59.997.150	831.196	NAN	16.897	5.917	0.000000E+00	77.87	
5	7/20/2021	18:20:35	0.000000E+00	11.804.440	18.993.510	124.126.300	5.414.570	561.057.900	673.063.200	362.494.800	59.997.150	831.709	NAN	11.953	5.917	0.000000E+00	52.42	
6	7/20/2021	18:20:37	0.000000E+00	11.361.780	18.750.000	124.126.300	5.414.570	561.057.900	673.063.200	362.494.800	59.997.150	833.021	NAN	10.989	5.785	0.000000E+00	47.62	
7	7/20/2021	18:20:39	0.000000E+00	11.214.220	18.750.000	124.126.300	5.383.319	557.057.700	669.063.200	356.494.800	59.997.150	834.344	NAN	22.557	6.050	0.000000E+00	108.33	
8	7/20/2021	18:20:41	0.000000E+00	13.722.670	18.750.000	124.126.300	5.414.570	561.058.000	673.063.200	364.494.800	59.968.900	831.139	NAN	16.146	5.785	0.000000E+00	73.92	
9	7/20/2021	18:20:43	0.000000E+00	13.280.000	19.237.010	124.626.400	5.539.572	569.058.600	693.063.400	384.494.700	59.968.900	819.937	NAN	21.706	6.050	0.000000E+00	103.67	
10	7/20/2021	18:20:45	0.000000E+00	11.509.330	19.237.010	124.126.300	5.383.320	561.058.000	677.063.200	366.494.800	59.968.900	830.753	NAN	16.897	6.050	0.000000E+00	55.75	
11	7/20/2021	18:20:47	0.000000E+00	11.804.440	18.506.490	124.126.300	5.414.570	561.057.900	673.063.200	360.494.800	59.968.900	833.930	NAN	17.663	5.785	0.000000E+00	59.18	
12	7/20/2021	18:20:49	0.000000E+00	9.886.223	19.237.010	123.626.300	5.414.569	561.057.700	669.063.200	356.494.800	59.968.900	836.154	NAN	17.278	5.785	0.000000E+00	86.06	
13	7/20/2021	18:20:51	0.000000E+00	11.509.330	18.750.000	123.626.300	5.414.569	561.057.800	669.063.200	358.494.800	60.012.860	835.224	NAN	16.897	5.785	0.000000E+00	77.87	
14	7/20/2021	18:20:53	0.000000E+00	9.886.223	18.993.510	124.126.300	5.414.569	561.057.800	669.063.200	356.494.800	60.012.860	835.974	NAN	12.950	5.917	0.000000E+00	57.45	
15	7/20/2021	18:20:55	0.000000E+00	12.542.220	18.993.510	124.626.300	5.414.570	561.057.900	673.063.200	362.494.800	60.012.860	833.098	NAN	19.639	5.917	0.000000E+00	92.47	
16	7/20/2021	18:20:57	0.000000E+00	13.870.220	18.750.000	123.626.300	5.352.068	557.057.500	661.063.200	348.494.800	60.012.860	840.086	NAN	23.422	5.785	0.000000E+00	113.09	
17	7/20/2021	18:20:59	0.000000E+00	11.361.780	18.262.990	124.126.300	5.414.569	561.057.800	669.063.200	358.494.800	60.012.860	835.359	NAN	16.520	5.524	0.000000E+00	75.88	
18	7/20/2021	18:21:01	0.000000E+00	11.509.330	18.993.510	123.626.300	5.352.068	557.057.400	661.063.200	346.494.800	60.036.470	842.249	NAN	16.897	5.917	0.000000E+00	77.87	
19	7/20/2021	18:21:03	0.000000E+00	13.870.220	18.506.490	123.626.300	5.320.818	557.057.400	661.063.200	344.494.800	60.036.470	843.142	NAN	16.520	5.654	0.000000E+00	113.09	
20	7/20/2021	18:21:05	0.000000E+00	11.952.000	18.019.480	124.626.300	5.445.821	565.058.100	681.063.300	368.494.800	60.036.470	829.803	NAN	11.953	5.524	0.000000E+00	52.42	
21	7/20/2021	18:21:07	0.000000E+00	11.656.890	18.262.990	123.626.300	5.383.319	557.057.700	669.063.200	354.494.800	60.036.470	837.617	NAN	17.278	5.524	0.000000E+00	79.88	
22	7/20/2021	18:21:09	0.000000E+00	9.443.556	18.262.990	123.626.300	5.383.319	557.057.600	665.063.200	352.494.800	60.036.470	839.497	NAN	15.776	5.524	0.000000E+00	71.99	
23	7/20/2021	18:21:11	0.000000E+00	9.886.223	19.237.010	123.626.300	5.383.319	557.057.700	669.063.200	356.494.800	59.999.780	836.850	NAN	19.237	6.050	0.000000E+00	90.31	
24	7/20/2021	18:21:13	0.000000E+00	10.919.110	18.506.490	123.626.300	5.383.319	557.057.600	665.063.200	350.494.800	59.999.780	839.820	NAN	15.410	5.654	0.000000E+00	71.99	
25	7/20/2021	18:21:15	0.000000E+00	10.771.550	18.506.490	124.126.300	5.383.319	561.057.700	669.063.200	356.494.800	59.999.780	836.784	NAN	22.987	5.396	0.000000E+00	110.70	
26	7/20/2021	18:21:17	0.000000E+00	11.361.780	18.750.000	124.126.300	5.445.820	565.058.100	677.063.300	368.494.800	59.999.780	830.557	NAN	16.520	5.785	0.000000E+00	75.88	
27	7/20/2021	18:21:19	0.000000E+00	13.575.110	18.506.490	124.126.300	5.414.569	561.057.700	669.063.200	356.494.800	59.999.780	837.797	NAN	22.557	5.524	0.000000E+00	71.99	

Figura 14. Archivo Excel de parámetros eléctricos

20. Para prevenir accidentes el módulo cuenta con un paro de emergencia en el tablero de control y también en las ventanas de la pantalla, posee un sensor de presión visualizado en la figura 15 que desactiva la bomba cuando en las tuberías se mide una presión de 38 psi .



Figura 15. Sensor de presión

DESCONEXIÓN DEL MÓDULO

21. Para apagar el módulo se debe bajar los dos breakers que se encuentran dentro del tablero de control, visualizados en la figura 16.

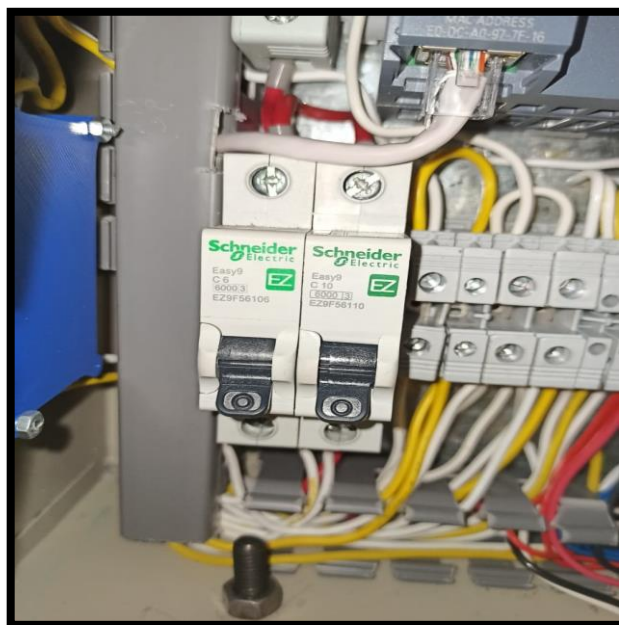
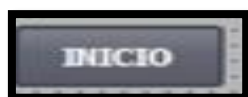


Figura 16. Breakers Bomba y PLC apagados

22. Desconectar el módulo de la red eléctrica de 110 V para evitar inconvenientes.

NOTA: Siempre para regresar a la ventana principal se debe presionar el botón inicio.



GUIA DE LABORATORIO

PRÁCTICA # 1: Análisis de parámetros eléctricos e hidráulicos en el Tramo 3.

Objetivo General:

- Realizar la comparación de los parámetros eléctricos e hidráulicos mediante la utilización de datos experimentales y teóricos.

Objetivos específicos:

- Determinar las pérdidas por fricción en tubería a 45° y 90° en el Tramo 3.
- Determinar experimental y teóricamente el coeficiente de fricción en tuberías.
- Determinar el porcentaje de pérdidas de Potencia Activa al abrir la válvula 45° y 90°.

Equipo Necesario

- Módulo automatizado de transporte de fluido hidráulico.
- Datos Experimentales

Caudal circulante en el Tramo 3.

- Pérdidas por fricción en tuberías y accesorios del Tramo 3.
- Parámetros eléctricos SENTRON PAC

Desarrollo Teórico

El desarrollo teórico consta de los siguientes puntos:

1. Selección de datos de tubería
2. Seleccionar el coeficientes “K” para la el cálculo de pérdidas por accesorio
3. Características de la bomba y propiedades del agua.
4. Aplicar la ecuación de Blasius para obtener el factor de fricción experimental
5. Aplicar la ecuación de la ecuación de Swameey Jain para obtener el factor de fricción teórico
6. Realizar cálculo de pérdidas
7. Realizar cálculo del error
8. Realizar una tabla con los parámetros hidráulicos.
9. Funcionamiento del SENTRON PAC
10. Selección de parámetros eléctricos requeridos

11. Realizar una tabla con los parámetros eléctricos.

Desarrollo de la Práctica

Funcionamiento del Tramo 3

1. Cerrar la válvula Tramo 1
2. Cerrar la válvula Tramo 2
3. Aperturar las válvulas del Tramo 3
4. Conectar el módulo a la red de 110 V.
5. Accionar breakers de la bomba y PLC que se encuentran en el interior del tablero de control.
6. Mediante el selector ubicado en el tablero de control elija el modo de control manual o semiautomático.
7. En la HMI muestra las ventanas de CTR MANUAL y CTR SEMIAUTOMÁTICO, al seleccionarlas en su interior muestran las distintas funciones de uso.
8. Si se desea exportar datos conectar la PC al Switch que se encuentra dentro del tablero de control con la ayuda de un cable de red
9. Obtener los datos hidráulicos visualizados en la HMI y los parámetros eléctricos monitoreados por el SENTRON PAC.
10. Anotar las medidas de caudal y pérdidas al abrir las válvulas a 45° y 90°.
11. Anotar los parámetros eléctricos monitoreados por el SENTRON PAC al abrir las válvulas a 45° y 90°.
12. Una vez finalizada la práctica apagar la Bomba y el PLC al bajar los breakers.

TABLA DE DATOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS A 45°

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 2 a 45° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 45°	Pérdidas por accesorios(m) a 45°	Factor fricción experimental en tuberías	Factor fricción teórico en tuberías	Error (%)

TABLA DE DATOS PARÁMETROS HIDRÁULICOS A 90°

Tiempo (seg)	Caudal Tramo 2 a 90° (L/min)	Pérdidas por tubería(m) a 90°	Pérdidas por accesorios(m) a 90°	Factor fricción experimental en tuberías	Factor fricción teórico en tuberías	Error (%)

COMPARACIÓN DE POTENCIA ACTIVA A 45° Y 90°

Tiempo (seg)	Potencia Activa (W) 45°	Potencia Activa (W) 90°	Incremento %

Análisis de resultados Teóricos vs Prácticos

- El análisis se hace con referencia a lo siguiente:
- Pérdidas por fricción en tubería y accesorios a 45° y 90°
- Factor de fricción al abrir las válvulas a 45° y 90°
- Potencias Activas al abrir las válvulas a 45° y 90°

Conclusiones

Recomendaciones