

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

TEMA:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS**

PARA LA EMPRESA AWT S.A.

AUTOR:

EDWIN PATRICIO CARUA PILICITA

TUTORA:

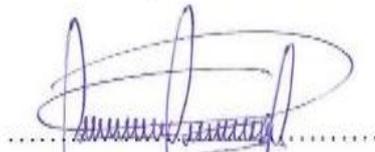
LUISA FERNANDA SOTOMAYOR REINOSO

Quito, febrero del 2016

Cesión de derechos de autor

Yo, Edwin Patricio Carua Pilicita, con documento de identificación N° 1721521639, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA EMPRESA AWT S.A.", mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Edwin Patricio Carua Pilicita
C.I.: 1721521639

Quito, febrero 2016

Declaratoria de coautoría de la docente tutora

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA EMPRESA AWT S.A.**, realizado por Edwin Patricio Carua Pilicita, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2016



Luisa Fernanda Sotomayor Reinoso

C.I.: 1710953967

Dedicatoria

Dedico este proyecto de titulación especialmente a mis queridos padres Patricio y Rosa por ser las personas quienes confiaron en mí y me brindaron su confianza y apoyo incondicional en todo momento a pesar de todos los obstáculos y necesidades presentadas, a mi hija Camila Mikaela quien es la persona que más amo y es el motor de mi vida para seguir siempre adelante, y a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo.

Agradecimiento

Expreso mis más sinceros agradecimientos a la Ing. Luisa Fernanda Sotomayor por su ardua labor y ayuda para la culminación de este proyecto de titulación, y a la Universidad Politécnica Salesiana por haber formado parte fundamental en nuestra formación académica y profesional.

Índice

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	3
MARCO TEÓRICO.....	3
1.1 Aguas residuales.....	3
1.1.1 Tipos de aguas residuales.....	4
1.2 Sensores, transmisores y controladores.....	4
1.3 Trasmisor de presión Ashcroft	5
1.4 Transmisor de presión diferencial.....	6
1.5 Flujómetro electromagnético Seametrics	7
1.6 Sensor de oxígeno disuelto	8
1.7 Sensor de pH	8
1.8 Módulos para oxígeno disuelto (OD) y potencial de hidrógeno (pH)	9
1.9 Controlador sc200 Hach.....	11
1.10 Analizador de cloro sin reactivos CLF10sc	12
1.11 Sensor de cloro.....	13
1.12 Bomba periférica de agua APm75	14
1.13 PLC Siemens S7-1200, CPU 1212C AC/DC/RLY	15
1.14 Módulo de entradas análogas 6ES7231-4HD32-0XB0	16
CAPÍTULO 2	18
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	18
2.1 Diseño mecánico estructural	18
2.2 Diseño eléctrico.....	22
2.2.1 Análisis de cargas del banco de pruebas	22
2.2.2 Calculo de la fuente de alimentación de 24 [VDC]	23
2.2.3 Dimensionamiento de protecciones para elementos del tablero de control	24
2.2.4 Dimensionamiento del disyuntor para elementos de control del tablero	25
2.2.5 Dimensionamiento de disyuntor para bombas	26
2.2.6 Contactor electromagnético para accionamiento de bombas	27
2.2.7 Selección del guardamotor.....	28
2.2.8 Diseño y montaje del tablero de control	30
2.3 Diseño de planos eléctricos.....	34
2.3.1 Diagrama de conexión eléctrico.....	34

2.3.2 Diagrama de conexión de bombas	34
2.3.3 Diagramas de distribución AC y DC	35
2.3.4 Diagrama de conexión de entradas y salidas del PLC	35
2.3.5 Esquema de entradas análogas	36
2.4 Desarrollo del programa del PLC	37
2.4.1 Diagrama de bloques del banco de pruebas	37
2.4.2 Diagrama de flujo del PLC	37
2.5 Desarrollo de la interfaz hombre máquina (HMI).....	39
2.6 Base de datos.....	46
CAPÍTULO 3	48
PRUEBAS Y RESULTADOS	48
3.1 Pruebas hidráulicas.....	48
3.2 Pruebas de funcionamiento de los instrumentos de medición	49
3.2.1 Pruebas de analizador de pH y oxígeno disuelto	50
3.2.2 Pruebas del analizador de cloro.....	51
3.2.3 Pruebas de transmisor de presión.....	53
3.2.4 Pruebas del transmisor de presión diferencial.....	54
3.2.5 Pruebas del flujómetro electromagnético.....	56
3.3 Análisis de datos	57
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES	63
REFERENCIAS	65
ANEXOS	67

Índice de figuras

Figura 1. Transmisores Ashcroft.....	5
Figura 2. Ashcroft GC52.....	6
Figura 3. Flujómetro Seametrics	7
Figura 4. Módulo de pH/ORP/OD	10
Figura 5. Controlador sc200.....	11
Figura 6. Analizador CLF10sc	12
Figura 7. Bomba de agua APm75	14
Figura 8. Diseño del banco de pruebas	18
Figura 9. Estructura metálica del banco de pruebas.....	19
Figura 10. Banco de pruebas bosquejo del diseño final.....	20
Figura 11. Vista frontal del banco de pruebas.....	21
Figura 12. Fuente Delta DRP024V060W1AZ.....	24
Figura 13. Dimensionamiento de contactores	28
Figura 14. Dimensionamiento de guardamotores	30
Figura 15. Parte frontal del tablero de control	31
Figura 16. Vista interior del tablero de control	32
Figura 17. Diagrama de bloques	37
Figura 18. Diagrama de flujo	38
Figura 19. Configuración de red	39
Figura 20. Enlace virtual	40
Figura 21. Estructura jerárquica de HMI	40
Figura 22. Pantalla de inicio del HMI.....	41
Figura 23. Pantalla de proceso general	42
Figura 24. Pantalla del transmisor de presión	42
Figura 25. Pantalla de transmisor de presión diferencial	43
Figura 26. Pantalla del flujómetro electromagnético	43
Figura 27. Pantalla para analizador de cloro	44
Figura 28. Pantalla para analizador de pH	44
Figura 29. Pantalla para analizador de oxígeno	45
Figura 30. Pantalla para bombas	46
Figura 31. Base de datos	47
Figura 32. Prueba hidráulica	48

Figura 33. Energización de tablero e instrumentos	49
Figura 34. Sensores de pH y OD.....	50
Figura 35. Conexión hidráulica de analizador de cloro	51
Figura 36. Conexión hidráulica del PIT	53
Figura 37. Conexión hidráulica del PDIT	54
Figura 38. Conexión hidráulica del flujómetro	56
Figura 39. Cables de conexión eléctrica del flujómetro.....	56

Índice de tablas

Tabla 1. Especificaciones del transmisor presión Ashcroft	5
Tabla 2. Especificaciones del transmisor de presión diferencial Ashcroft	6
Tabla 3. Especificaciones del flujómetro electromagnético WMP101	7
Tabla 4. Especificaciones del sensor de oxígeno disuelto	8
Tabla 5. Especificaciones del sensor de pH	9
Tabla 6. Especificaciones del módulo de oxígeno disuelto	10
Tabla 7. Especificaciones del módulo de pH	11
Tabla 8. Especificaciones del controlador sc200	12
Tabla 9. Especificaciones del analizador de cloro CLF10sc.....	13
Tabla 10. Especificaciones del sensor de cloro libre	14
Tabla 11. Especificaciones técnicas de la bomba APm75	15
Tabla 12. Especificaciones técnicas del PLC S7-1200 CPU 1212C.....	16
Tabla 13. Especificaciones técnicas del módulo 6ES7231-4HD32-0XB0	17
Tabla 14. Cargas a las que alimenta el tablero de control.....	22
Tabla 15. Cargas para dimensionamiento de fuente de voltaje DC	23
Tabla 16. Datos técnicos de la fuente de voltaje	24
Tabla 17. Corriente de los elementos de control.....	25
Tabla 18. Selección de disyuntores de protección	27
Tabla 19. Selección de contactores	28
Tabla 20. Selección de guardamotores.....	30
Tabla 21. Entradas y salidas del PLC.....	35
Tabla 22. Entradas análogas.....	36
Tabla 23. Muestras de medición de pH.....	50
Tabla 24. Muestras de medición de oxígeno disuelto	51
Tabla 25. Muestras de medición del analizador de cloro.....	52
Tabla 26. Muestras de medición del PIT	54
Tabla 27. Muestras de medición del PDIT.....	55
Tabla 28. Muestras de medición del flujómetro.....	57
Tabla 29. Cuadro de errores de instrumentos.....	58
Tabla 30. Cálculo del coeficiente de variación	60

Anexos

Anexo 1. Diseño y medidas de la estructura del banco de pruebas	67
Anexo 2. Layout del tablero eléctrico de control	68
Anexo 3. Diagrama de conexión eléctrico	69
Anexo 4. Diagrama de conexión de bomba de prueba.....	70
Anexo 5. Diagrama de conexión de bomba de agua.....	71
Anexo 6. Distribución AC	72
Anexo 7. Distribución DC	73
Anexo 8. Conexión de entradas y salidas del PLC	74
Anexo 9. Esquema de entradas análogas	75
Anexo 10. Manual de operación del banco de pruebas.....	76
Anexo 11. Procedimiento de pruebas de funcionamiento de instrumentos de medición.....	96

Resumen

El documento hace referencia al diseño y construcción de un banco de pruebas utilizado para supervisar y comprobar la funcionabilidad de los diferentes instrumentos de medición necesarios en el tratamiento de aguas, permitiendo de esta manera a la empresa AWT S.A., contar con equipos altamente fiables para la construcción y operación de sus plantas.

Este banco permite determinar sus posibles fallas ya sea en la activación eléctrica, en la transmisión de datos hacia el respectivo controlador o simplemente en el funcionamiento normal del equipo, pudiendo monitorear cada parámetro de cada elemento a través de un HMI (Human Machine Interface), durante un tiempo determinado necesario para la verificación de los mismos, dicha interfaz se realizó en el modo Runtime con la herramienta TIA Portal V13, además se creó una base de datos en Microsoft SQL Server 2008 la cual permite guardar y descargar dichos datos almacenados periódicamente.

Para lograr el objetivo implicó conocer las respectivas especificaciones, medidas y características de cada elemento utilizado, además se realizó el análisis técnico de los diferentes instrumentos utilizados en el tratamiento de aguas pudiendo determinar su funcionamiento, principio de operación y modo de conexión, lo que permitió obtener datos necesarios para el diseño tanto de los planos mecánicos, eléctricos y electrónicos del proyecto.

El banco de pruebas está formado por un tablero de control, por la estructura metálica que está construida de tubo estructural negro cuadrado, el sistema hidráulico está compuesto de tubería PVC, válvulas de bola y demás elementos necesarios para su funcionamiento.

Abstract

The document refers to the design and construction of a testing bank to monitor and verify the functionality of the various measuring instruments needed in water treatment, thereby allowing the company AWT SA, have highly reliable equipment building their plants.

This bank to determine possible failures either electrical activation in data transmission to the respective controller or simply the normal operation of the equipment can monitor each parameter of each element through a HMI (Human Machine Interface), for a certain time required for verification thereof, the interface was done in runtime with the TIA Portal V13 tool, plus a database in Microsoft SQL Server 2008 which can store and download the data stored periodically created.

To achieve the goal implied meet their specifications, dimensions and characteristics of each element used, besides the technical analysis of the different instruments used in water treatment and can determine its operation, operating principle and mode of connection was made, which allowed to obtain data necessary for the design of both the mechanical, electrical and electronic plans of the project.

The testing bank consists of a control board, the metal structure is constructed of square black structural tube, and the hydraulic system is made of PVC pipe, ball valves and other elements necessary for its operation.

INTRODUCCIÓN

Dentro del tratamiento de aguas es imprescindible la utilización de diferentes instrumentos de medición que permiten obtener agua tratada que cumpla con las diferentes normas ambientales pertinentes.

El presente trabajo de titulación desarrollará un banco de pruebas de instrumentos de medición para la empresa AWT S.A, teniendo en cuenta la importancia de estos elementos de medida dentro del tratamiento de aguas, este banco permite comprobar el funcionamiento de los diferentes instrumentos utilizados en la fabricación de una planta de tratamiento de agua, ya que de esta manera se pretende reducir tiempos y costos de construcción.

El banco de pruebas está constituido por una estructura metálica en la cual se colocan los diferentes elementos que lo conforma, cuenta con una bomba de agua eléctrica alimentada a 110 [V] en corriente alterna, utilizada para las pruebas de funcionamiento de los instrumentos y un tablero de control eléctrico para el funcionamiento del mismo.

El control del banco de pruebas se puede realizar de dos distintas formas de operación, la primera en modo de operación manual, donde se controla la bomba de agua y bomba de pruebas mediante los switch de encendido ubicados en el tablero de control, y la segunda en modo automático donde se podrá controlar estas bombas a través de la interfaz gráfica HMI (Human Machine Interface) implantada que además permite el monitoreo de funcionamiento de los instrumentos, adicional se llevará un registro de funcionamiento de cada uno de los equipos probados ya que dispone de una base de datos donde se almacenan todos los valores de las variables medidas durante las pruebas de funcionamiento.

El proyecto de titulación abarca los siguientes capítulos:

Capítulo 1: Es una recopilación o marco teórico necesarios para el desarrollo del proyecto donde se encuentra información técnica de los diferentes elementos utilizados.

Capítulo 2: Describe el diseño y construcción tanto mecánico, eléctrico y electrónico del banco de pruebas, además de los cálculos necesarios de todos los elementos de protección que intervienen en el proyecto.

Capítulo 3: Se presentan las pruebas y resultados que se obtienen del funcionamiento del proyecto implementado.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

Este capítulo aborda la fundamentación teórica que permita la comprensión y desarrollo del proyecto, describiendo los sensores y transmisores utilizados, conceptos generales, clasificación y características de los distintos equipos y elementos que lo conforman en banco de pruebas.

1.1 Aguas residuales

Se consideran aguas residuales a todas aquellas que han cambiado sus características iniciales, debido al contacto con elementos o sustancias químicas desechadas, presentes en el área residencial o industrial, como consecuencia de este uso, estas aparecen sucias y contaminadas; el agua residual contiene materia contaminante disuelta y en suspensión que alteran sus propiedades físicas, las cuales pueden llegar a ser perjudiciales para la salud humana y el medioambiente, debido a que cambian las características del medio natural donde ocurre su descarga, por ende el riesgo que esto ocasiona depende particularmente de sus propiedades, es decir, su composición y cantidad (CIDTA, 2015).

Las aguas residuales están compuestas de un 99 % de agua y un 1 % de sólidos en suspensión, dichos sólidos generalmente pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos, principalmente estas aguas están conformadas por ciertas sustancias tóxicas tales como cianuro, arsénico, mercurio, plomo, entre otras (Cabildo Miranda, y otros, 2010, págs. 52-53).

Los efectos negativos que las aguas residuales pueden producir son de varios tipos, siendo los más importantes:

- Generación de olores desagradables provocados por la descomposición de las diversas sustancias presentes, debido a la falta de oxígeno.
- La toxicidad de algunos compuestos minerales y orgánicos presentes en estas aguas afectan considerablemente la flora y fauna.

- Suelen provocarse infecciones ocasionadas por bacterias, virus y otros microorganismos, que se encuentran en las aguas residuales.
- Variación estética de los medios receptores, ocasionado por de la acumulación de diversos productos de desecho (Calvo, s.f., págs. 2-3).

1.1.1 Tipos de aguas residuales

Las aguas residuales más comunes son: aguas residuales domésticas se generan en viviendas, lugares comerciales o públicos que contiene desechos fisiológicos procedentes de la actividad humana, por su parte las aguas residuales industriales se producen en locales que realizan cualquier tipo de actividad comercial o industrial, son considerablemente variables en cuanto a caudal y composición, mientras que las aguas residuales urbanas son la combinación de aguas domésticas con las de escorrentía pluvial y/o aguas residuales industriales (Guijarro Millán, Cantero Calero, Muñoz Rodríguez, & Cantero Calero, 2004, pág. 420).

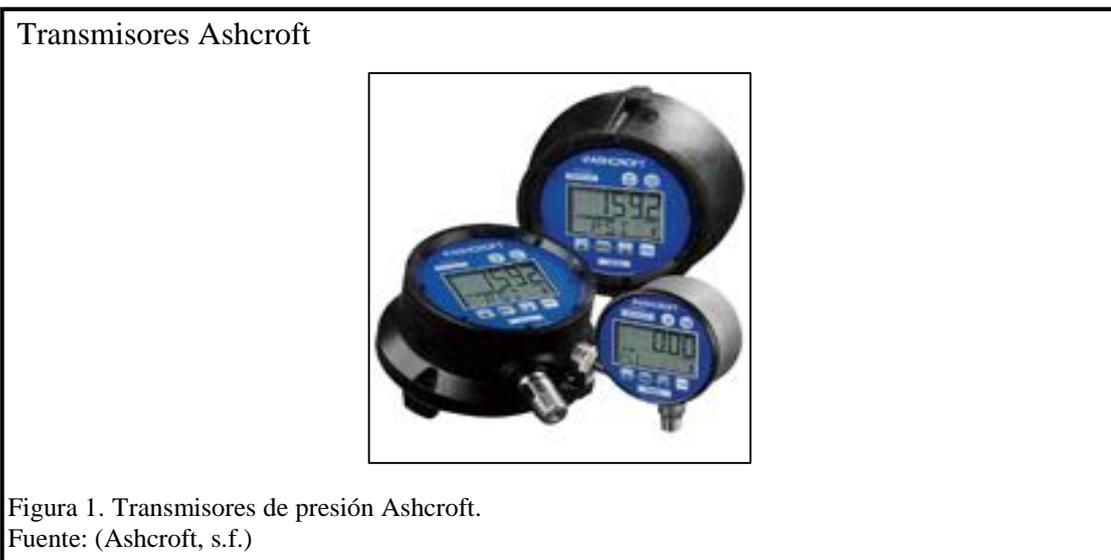
1.2 Sensores, transmisores y controladores

A partir del proceso de tratamiento de aguas es estrictamente necesario controlar y mantener constante algunas variables, tales como la presión, caudal, pH, oxígeno, entre otros, para realizar este control es indispensable la utilización de diferentes sensores, transmisores y controladores.

- Los sensores son capaces de captar la variable del proceso y transformarla en una señal de salida estandarizada.
- Los transmisores tienen la función de captar las variables presentes en el proceso, para después transmitir las mediante señales estandarizadas tales como: señal eléctrica de (4 a 20 [mA]) o señal neumática de (3 a 15 [PSI]).
- Los controladores se encargan de comparar el valor medido de la variable de proceso y un valor deseado, con el fin de realizar acciones correctivas en caso de existir una desviación.

1.3 Transmisor de presión Ashcroft

Los transmisores Ashcroft 2174 y 2274 mostrados en la Figura 1, son instrumentos de medición de presión, que son colocados directamente en la tubería asociada al proceso de una planta de tratamiento de agua, disponen de un *display* para indicación digital y gráfico de barra que muestra el valor medido de la variable, la señal que transmiten estos instrumentos es de tipo eléctrica de 4-20 [mA] (Ashcroft, s.f.).



En la Tabla 1, se pueden apreciar las características técnicas del transmisor Ashcroft.

Tabla 1.
Especificaciones del transmisor presión Ashcroft

Ashcroft 2174/2274	
Exactitud	0.25 % de escala completa
Temperatura de operación	14/140°F (10/60°C)
Temperatura de almacenamiento	-4/158°F (-20/70°C)
Voltaje de alimentación	12-36 VDC, 2VA máx.
Tipo de material	Fibra de vidrio o termoplástico reforzado aluminio con recubrimiento epoxi negro
Señal de salida	4-20mA (2 Cables)

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.4 Transmisor de presión diferencial

En la Figura 2 se observa el transmisor de presión diferencial Ashcroft GC52 que cuenta con una señal de transmisión eléctrica de 4-20 [mA], este equipo dispone de una pantalla LCD retroiluminada donde se muestra la variable medida (Ashcroft, 2007). En el tratamiento de aguas este instrumento es utilizado especialmente para medición de la presión diferencial generada en filtros, en la Tabla 2, se muestra las especificaciones técnicas del transmisor de presión diferencial.



Tabla 2.

Especificaciones del transmisor de presión diferencial Ashcroft

Ashcroft GC52	
Exactitud	±0,5% F.S. (URL) a 73 ° F (23 ° C); incluye los efectos de no linealidad, histéresis y falta de reproducibilidad
Temperatura de operación	-10 a 60°C (14 a 140°F)
Temperatura de almacenamiento	-20 a 70°C (-4 a 158°F)
Voltaje de alimentación	12-36 VDC
Tipo de material	Aluminio fundido inyectado IP65/NEMA 4X
Resistencia de aislamiento	50 VDC, 100MΩ o más
Unidades de presión	inH ₂ O
Señal de salida	4-20mA (2 Cables)

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.5 Flujómetro electromagnético Seametrics

El medidor de flujo electromagnético de la serie WMP101 de la Figura 3 está formado de un cuerpo de plástico diseñado para aplicaciones de flujo y para tuberías de 1, 2 y 3 pulgadas de diámetro, este equipo se alimenta mediante un cable de 5 pines los cuales proporcionan la salida de pulsos que se pueden emplear en diversos *displays* o controles para monitoreo remoto (Seametrics, 2013). Las características técnicas de flujómetro se observan en la Tabla 3.



Tabla 3.
Especificaciones del flujómetro electromagnético WMP101

Flujómetro WMP101 (2 pulgadas)	
Presión de trabajo	150 psi a 70 °C
Rango de temperatura de operación	Operación: -12 a 54 °C Sin operar: -40 a 80 °C
Exactitud	±1% de la lectura (entre 10 y 100% del flujo máximo) ±3% de la lectura (entre apagado y 10% del flujo máximo)
Flujo mínimo	6 GPM (0.38 LPS)
Flujo máximo	300 GPM (18.9 LPS)
Alimentación	10-30 VDC, 60 mA
Señal de salida de pulsos	Pulso de corriente de amortización, 32 VDC max. 10 mA max.
Conductividad	>20 microSiemens/cm
Cubierta	NEMA4X

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.6 Sensor de oxígeno disuelto

Permite la medición de la cantidad de oxígeno disuelto presente en el agua, este sensor es importante para la conservación de la vida de bacterias utilizadas en el proceso de tratamiento de aguas, por lo tanto, la medición de este parámetro debe ser casi exacta y comúnmente se la hace en partes por millón ([ppm]), que es la unidad de medida que frecuentemente se utiliza.

Este sensor está diseñado para trabajar en conjunto con un controlador utilizado para la operación y adquisición de datos, en la Tabla 4 se aprecia las características técnicas de este sensor.

Tabla 4.
Especificaciones del sensor de oxígeno disuelto

Sensor de oxígeno disuelto	
Temperatura de servicio	0 a 50 °C (32 a 122 °F)
Elemento de temperatura	Termistor NTC de 30 kΩ
Dimensiones	22 cm (8.75 pulgadas) x 4,4 cm (1,5 pulg.) de diámetro
Materiales del electrodo	Cátodo de oro, ánodo de plata y electrodo de referencia de plata
Presión máxima	145 psi (10 bar)
Tiempo de respuesta	180 segundos al 90% del valor al cambiar el paso
Velocidad mínima	0,5 cm por segundo

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.7 Sensor de pH

El pH (potencial hidrógeno) es una medida de la alcalinidad o acidez que está presente en una solución, mediante este sensor, esta variable se mide habitualmente por medio de un electrodo de vidrio interno y un electrodo de referencia.

Dentro del tratamiento de aguas es importante tener en cuenta que este instrumento debe tener una alta fiabilidad y exactitud, puesto que en condiciones de trabajo donde la temperatura ambiente es elevada la medición de pH se puede ver afectada, ocasionando que este proceso de tratamiento sea deficiente.

En la Tabla 5 se detallan las especificaciones técnicas del sensor de pH.

Tabla 5.
Especificaciones del sensor de pH

Sensor de pH diferencial	
Temperatura de funcionamiento	-5 a 105 °C (23 a 221 °F)
Temperatura de almacenamiento	4 a 70 °C (40 a 158 °F)
Elemento de temperatura	Termistor NTC300
Componentes	Materiales resistentes a la corrosión, totalmente sumergibles
Límite de presión	100 psi a 105 °C (6.9 bar a 221 °F)
Medida máxima de caudal	3 m/s (10 pies/s)

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.8 Módulos para oxígeno disuelto (OD) y potencial de hidrógeno (pH)

El sensor de oxígeno disuelto y potencial de hidrógeno, necesitan indispensablemente un módulo para procesar las señales eléctricas que estos captan cada vez que se realiza la medida de la variable del proceso.

En la Figura 4 se presenta el módulo de pH/ORP/oxígeno disuelto que permite la conexión de estos sensores análogos con el controlador sc200.

Módulo de pH/ORP/OD



Figura 4. Módulo para conexión de sensores análogos de pH, ORP, OD.
Fuente: (Hach Lange, s.f)

En la Tabla 6 se visualiza las especificaciones del módulo para oxígeno disuelto.

Tabla 6.
Especificaciones del módulo de oxígeno disuelto

Módulo de OD	
Escala de medición	0 a 40 ppm
Repetitividad / Precisión	$\pm 0,05\%$ / $0,1\%$ del rango (si la conductividad de la muestra es < 10 mS/cm)
Tiempo de respuesta	1 segundos
Intervalo de temperaturas	0 a 50 °C (± 32 a 122 °F)
Precisión de temperaturas	$\pm 0,5$ °C ($\pm 32,9$ °F)
Compensación de la temperatura	Termistor de 30 k Ω /manual
Requisitos de energía	12 V CC / $0,5$ W

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

En la Tabla 7 se observa las características técnicas del módulo para pH.

Tabla 7.
Especificaciones del módulo de pH

Módulo de pH.	
Rango de medición	Sensor de combinación de pH: 0 a 14 unidades de pH.
Precisión	Sensor de pH diferencial: -2 a 14 unidades de pH.
Tiempo de respuesta	0,5 segundos
Repetitividad	0.1% de la escala
Estabilidad	0.03 pH por 24 horas; 2 mV

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.9 Controlador sc200 Hach

El controlador de la Figura 5 muestra las mediciones de los sensores conectados a este, tiene la capacidad de transmitir señales analógicas o digitales, puede interactuar con otros dispositivos y controlarlos a través de las salidas y relés que este posee. El sc200 admite un máximo de dos módulos par sensores análogos o digitales.



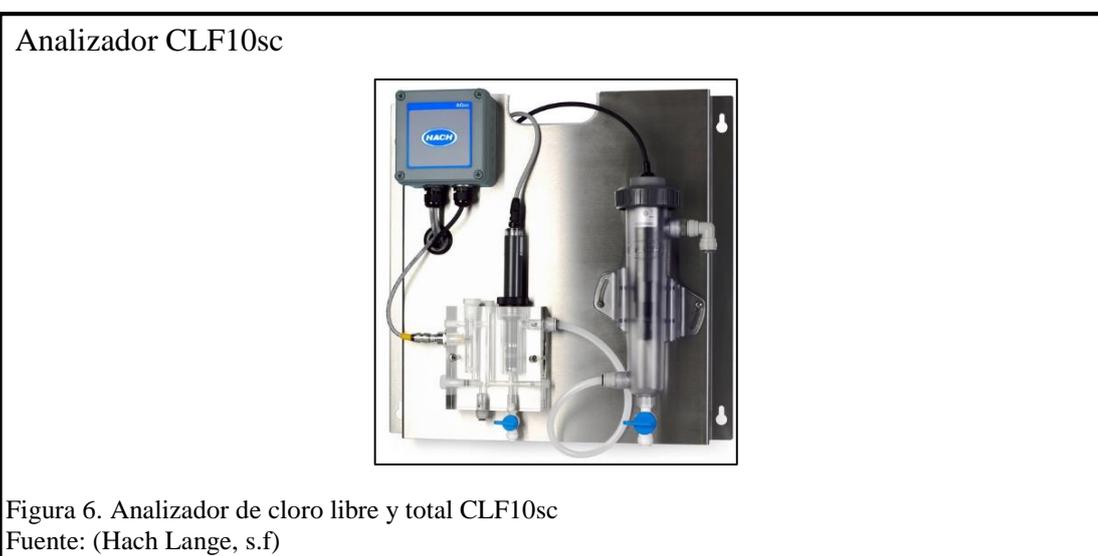
Las especificaciones del controlador universal sc200 se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8.
Especificaciones del controlador sc200

Controlador sc200.	
Temperatura de funcionamiento	-20 - 60 °C (-4 - 140 °F); 95% de humedad relativa, sin condensación con carga del sensor inferior a 7 W; -20 - 50 °C (-4 - 104 °F) con carga del sensor inferior a 28 W
Temperatura de almacenamiento	-20 - 70 °C (-4 - 158 °F); 95% de humedad relativa, sin condensación
Requisitos de alimentación	100-240 VAC ± 10%, 50/60 Hz
Requerimientos de altitud	Estándar de 2.000 m (6.562 pies) sobre el nivel del mar
Salidas	Dos salidas analógicas (0-20 mA o 4-20 mA).
Relés	Cuatro contactos electromecánicos limitados a 250 VAC, 5A (carga resistiva)
Carcasa	NEMA 4X/IP66
Peso	1,7 kg (3,75 lb)

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.10 Analizador de cloro sin reactivos CLF10sc



Este dispositivo puede utilizarse especialmente en aplicaciones que contengan agua potable municipal, el analizador CLF10sc mostrado en la Figura 6 mide la concentración de cloro en el agua, mediante el sensor de cloro que se ubica en una

celda de flujo la cual permite al sensor estar siempre en contacto con la muestra de agua que circula a través del analizador, al mismo tiempo que cumple la función de impedir que el sensor se seque cuando el sistema no funcione (Hach, 2012, págs. 41-42).

En la Tabla 9 se observan las características técnicas del analizador de cloro CLF10sc.

Tabla 9.
Especificaciones del analizador de cloro CLF10sc

Analizador CLF10sc	
Temperatura de servicio	0 a 45 °C (0 a 113 °F)
Temperatura de almacenamiento (sólo el panel)	-20 a 60 °C (-4 a 149 °F)
Requerimientos de alimentación	12 V CC \pm 10%, 100 mA máximo (suministrada por el controlador sc)
Peso	Aproximadamente 5,4 kilos (12 lb) (sólo panel y componentes instalados en el panel vacío)
Caudal	Rango: 30–50 l/hora (7,9–13,2 gal/hora) Óptimo: 40 l/hora (10,5 gal/hora)

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.11 Sensor de cloro

El sensor de cloro no contiene reactivos, mide de forma continua la cantidad de cloro presente en el agua (concentración generada por productos de cloro inorgánicos), está diseñado para funcionar conjuntamente con el gateway digital del analizador CLF10sc y el controlador sc200 utilizado para la recopilación de datos. (Hach, 2013)

Las especificaciones técnicas del sensor de cloro se muestran en Tabla 10.

Tabla 10.

Especificaciones del sensor de cloro libre

Sensor de cloro libre	
Rango de medición	0 a 20 ppm
Límite de detección inferior	0,030 ppm (30 ppb)
Resolución	0,001 ppm (1 ppb)
Rango de funcionamiento de pH	4 a 9 unidades de pH
Precisión (concentraciones de cloro dentro de ± 2 ppm o 20% (lo que sea menor) del punto calibrado)	<ul style="list-style-type: none"> • $\pm 3\%$ del ensayo de referencia² (DPD) a un pH constante inferior a 7,2 ($\pm 0,2$ unidades de pH) • $\pm 10\%$ del ensayo de referencia² (DPD) a un pH estable inferior a 8,5 ($\pm 0,5$ unidades de pH a partir del pH en la calibración de cloro)
Repetibilidad	30 ppb o 3%, lo que sea mayor
Tiempo de muestreo	Continuo
Límite de presión	0,5 bares, sin golpes de presión ni vibraciones
Caudal	30 a 50 l/hora (7,9 a 13,2 gal/hora) 40 l/hora (10,5 gal/hora): óptimo
Requisitos de alimentación	12 V CC, 30 mA máximo (suministrados por el controlador)
Temperatura de funcionamiento	5 a 45 °C (41 a 113 °F)

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.12 Bomba periférica de agua APm75



La bomba de agua APm75 mostrada en la Figura 7 se utiliza para transferir agua limpia en el banco de pruebas para comprobar el funcionamiento de los instrumentos, sus características técnicas se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11.

Especificaciones técnicas de la bomba APm75

Bomba APm75	
Tensión de alimentación	220/110 VAC
Intensidad nominal	5A/11A
Potencia	1 HP
Caudal	5 – 50 l/min
Temperatura máxima de operación	40 °C
Temperatura máxima del líquido	60 °C
Máx. succión	6 m

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.13 PLC Siemens S7-1200, CPU 1212C AC/DC/RLY

Para el desarrollo del proyecto se requiere de una entrada de conteo de pulsos rápidos para la adquisición del valor de la variable proporcionada por el flujómetro electromagnético, de seis entradas digitales encargadas de procesar los pulsos de entrada del sistema para el control del banco, y de dos salidas digitales para el control de bombas.

Por lo tanto se requiere de un PLC (controlador lógico programable), que en este caso se ha utilizado el S7-1200 CPU 1212C AC/DC/RLY, que cumple con las necesidades anteriormente planteadas.

Los datos técnicos de este dispositivo se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12.

Especificaciones técnicas del PLC S7-1200 CPU 1212C

PLC S7-1200 CPU 1212C	
Tensión de alimentación	120 – 220 VAC
Consumo de corriente (valor nominal)	80 mA a 120 V AC; 40 mA a 240 V AC
Máx. consumo de corriente	240 mA a 120 V AC; 120 mA a 240 V AC
Máx. Corriente de entrada	20 A; at 264 V
Corriente de salida	1 000 mA; Max. 5 V DC para SM y CM
Perdida de potencia	11 W
Memoria de trabajo integrada	25 Kbyte
Memoria de carga integrada	1 Mbyte
Número total de bloques	DBs, FCs, FBs, contadores y temporizadores. El número máximo de bloques direccionables varía de 1 a 65535. No hay ninguna restricción , toda la memoria de trabajo se puede utilizar
Entradas digitales	8 ; integradas de las cuales 4 se pueden utilizar como HSC (Contador de alta velocidad)
Salidas digitales	6 tipo relé
Entradas análogas	2, de 0 a 10 V

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

1.14 Módulo de entradas análogas 6ES7231-4HD32-0XB0

Para el análisis de funcionabilidad de los instrumentos de medición es necesario contar con un módulo de entradas análogas que se adapte fácilmente al PLC S7-1200 CPU 1212C y que disponga de cuatro entradas analógicas que contemplen la señal eléctrica de transmisión de 4-20 [mA], para este caso se utiliza el módulo SM 1231 AI-6ES7231-4HD32-0XB0.

En la Tabla 13 se detallan las características técnicas del módulo de entradas análogas. .

Tabla 13.

Especificaciones técnicas del módulo 6ES7231-4HD32-0XB0

Módulo 6ES7231-4HD32-0XB0	
Tensión de alimentación	24 VDC
Intensidad de entrada	45 mA
Perdida de potencia	1,5 W
Nº de entradas análogas	4; Entradas diferenciales tipo corriente o tensión
Rangos de entrada	Intensidad: 4 a 20 mA, 0 a 20 mA Tensión: ±10V, ±5V, ±2,5V
Resolución con rango de rebase (bits incl. signo), máx.	12 bit; + signo

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

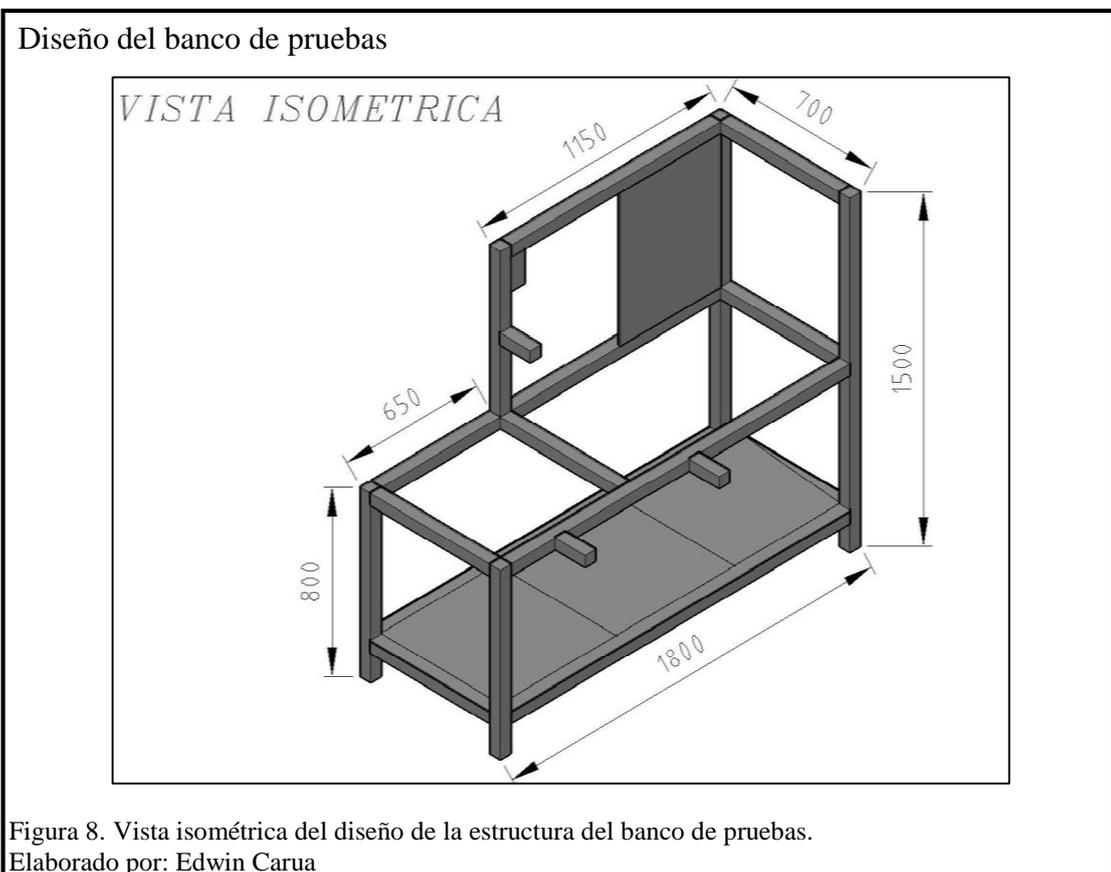
CAPÍTULO 2

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Este capítulo describe el diseño y construcción del banco de pruebas de instrumentos de medición, donde se muestran los planos, diagramas y esquemas que fueron utilizados en su proceso de construcción. Las principales actividades desarrolladas en el proyecto fueron: diseño mecánico, diseño eléctrico, desarrollo del programa y su posterior implementación.

2.1 Diseño mecánico estructural

Para realizar el diseño mecánico estructural, se analizó los instrumentos a utilizarse y sus respectivas medidas, con el objeto de que todos los elementos utilizados se acoplen correctamente unos a otros y para que la estructura metálica soporte el peso al cual va a ser sometido. En la Figura 8 se observa el diseño de la estructura del banco con sus respectivas medidas el cual fue realizado en el programa AutoCAD 2015. Para mayor detalle del diseño y demás medidas referirse al Anexo 1.



Tomando como referencia el diseño realizado en AutoCAD se procedió con la construcción física de la estructura metálica que se muestra en la Figura 9, dicha estructura se realizó con tubo estructural negro cuadrado ASTM A-500 con una sección de 50 [mm] y 2 [mm] de espesor, el cual tiene un esfuerzo de fluencia y una resistencia de ruptura a la tensión de 320 [MPa] (3200 [kg/cm²]) y 405 [MPa] (4100 [kg/cm²]) (Unicon, s.f), suficientemente robusto para que soporte el peso ejercido por los elementos a ser montados.



De igual forma se esquematizó el banco de pruebas íntegramente mostrado en la Figura 10 y a continuación en la Figura 11 se observa la implantación final del mismo. Para realizar el bosquejo final se tiene en cuenta las medidas reales de cada elemento que lo constituye, las dimensiones estándar de tubería PVC y demás accesorios y la ubicación de cada uno de ellos, cada elemento está colocado para que sea de fácil manipulación para el operario.

Banco de pruebas bosquejo del diseño final

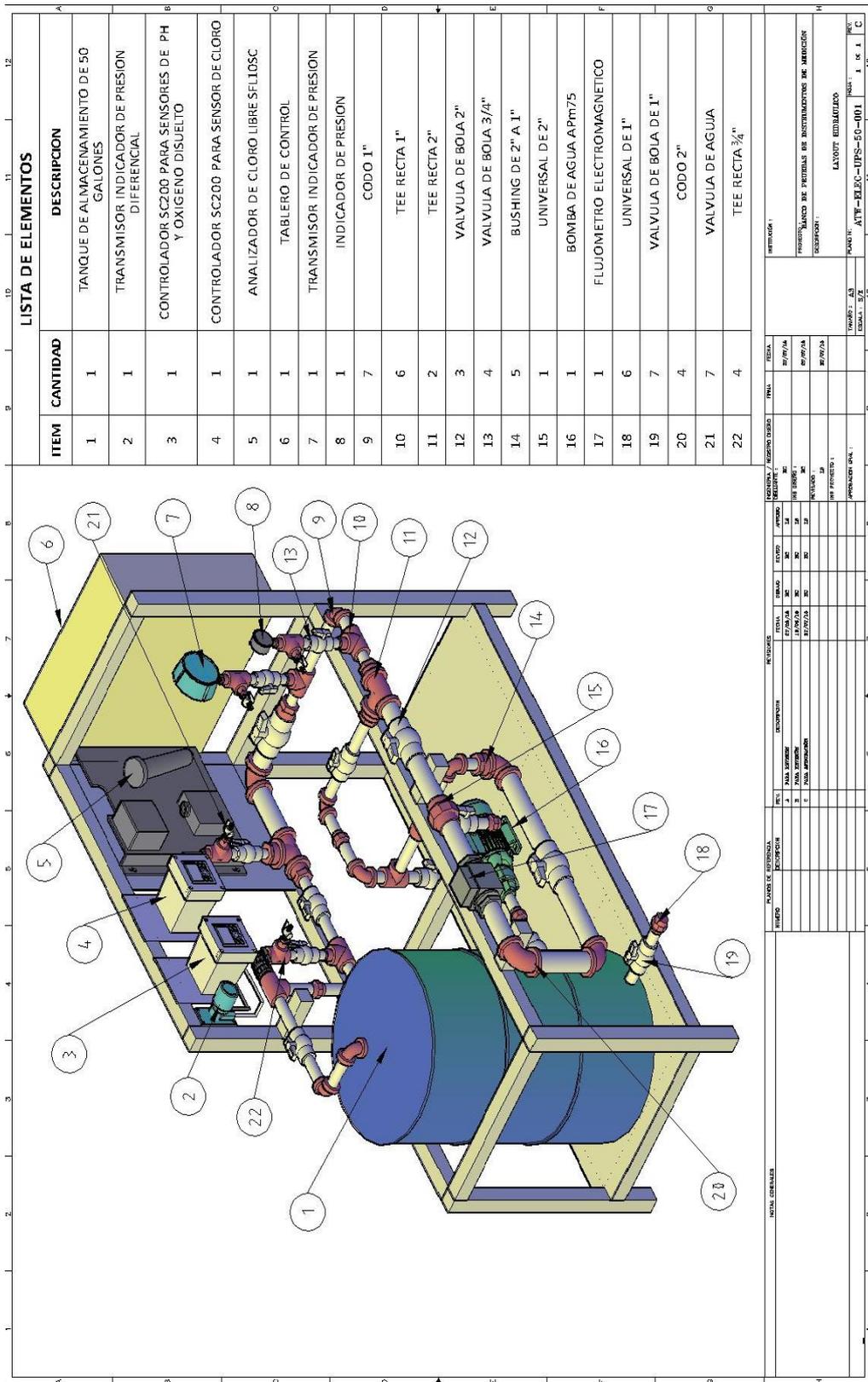


Figura 10. Vista isométrica del diseño final del banco de pruebas
Elaborado por: Edwin Carua

Vista frontal del banco de pruebas

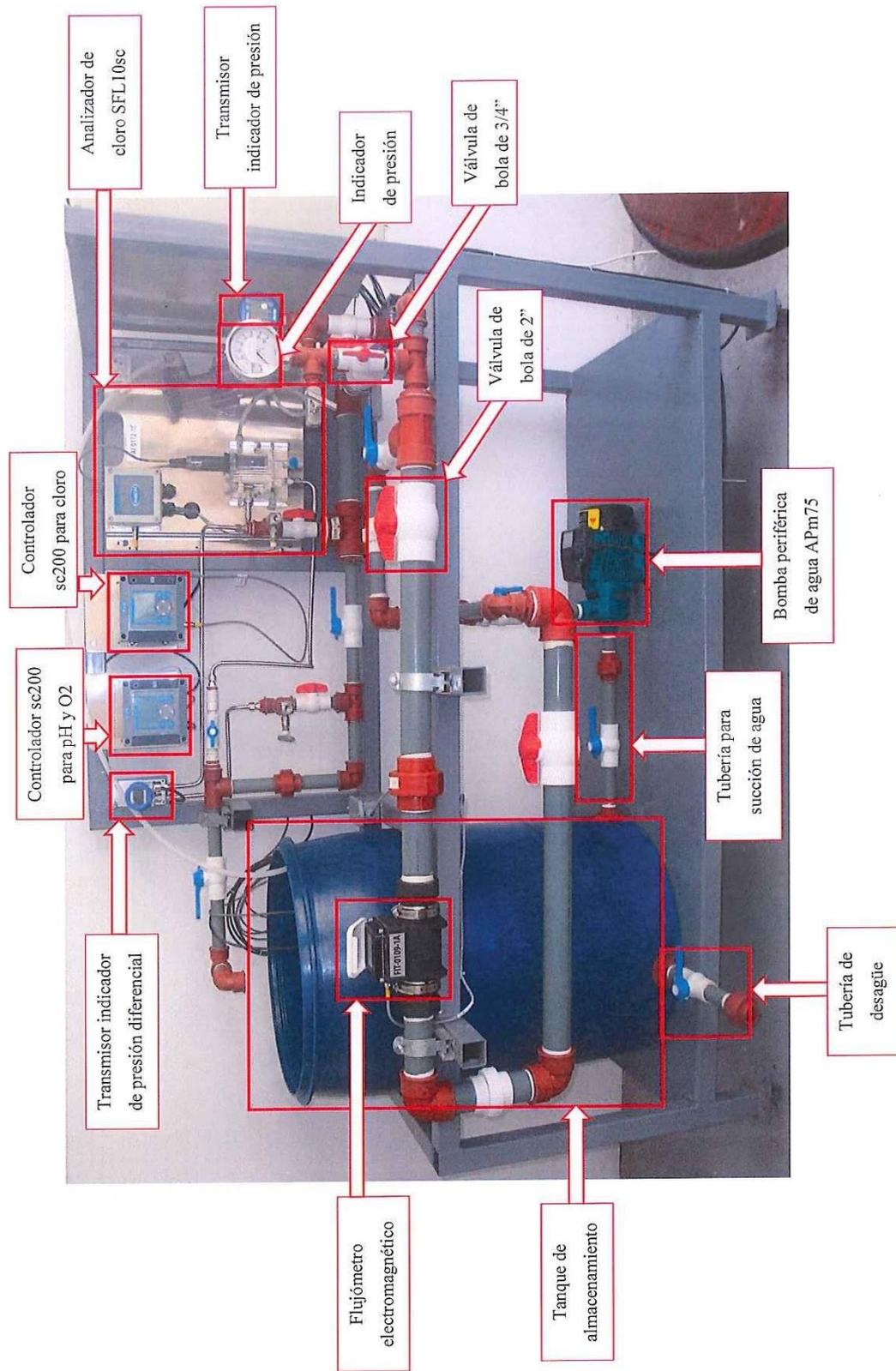


Figura 11. Banco de pruebas de instrumentos de medición
Elaborado por: Edwin Carua

2.2 Diseño eléctrico

El banco de pruebas cuenta con un tablero de control el cual fue diseñado y construido de acuerdo a los diferentes niveles de voltaje que se van a manejar, los cuales se describen a continuación.

- 110 [VAC] para alimentación general del sistema, alimentación de analizadores químicos, bomba de agua, entre otros.
- 24 [VDC] para alimentación de transmisores (Presión, Presión diferencial), flujómetro electromagnético, así como para las entradas y salidas del PLC.
- 220 y 480 [VAC] de ser necesario para comprobación de bombas que requieran este nivel de voltaje.

2.2.1 Análisis de cargas del banco de pruebas

Para realizar el cálculo, dimensionamiento, selección de las protecciones y dispositivos de alimentación de cada equipo, se toma como referencia las cargas que serán ocupadas por cada uno ellos las cuales se especifican en la Tabla 14.

Tabla 14.

Cargas a las que alimenta el tablero de control

Nº de elementos	Elemento	Corriente máx. de carga	Carga asumida
1	PLC S7-1200 AC/DC/RLY CPU 1212	240 [mA]	A la Red de 110 VAC
1	Bomba periférica de agua APm75	11 [A]	A la Red de 110 VAC
1	Fuente Delta	1.1 [A]	A la Red de 110 VAC
2	Controlador sc200	680 [mA]	A la Red de 110 VAC
2	Bobina de contactores para bombas	500 [mA]	A la Red de 110 VAC
5	Luces de indicación	10 [mA]	A la Red de 110 VAC
3	Relé de control AC	80 [mA]	A la Red de 110 VAC
1	Módulo análogo 6ES7231-4HD32-0XB0	45 [mA]	A la CPU 1212
2	Relé de control DC	60 [mA]	A la fuente de 24 VDC
1	Flujómetro electromagnético	60 [mA]	A la fuente de 24 VDC

Nota: Descripción de cargas eléctricas del banco de pruebas. Elaborado por: Edwin Carua

2.2.2 Cálculo de la fuente de alimentación de 24 [VDC]

Es necesario contar con una fuente de 24 [VDC], debido a que, los transmisores y el flujómetro electromagnético se alimentan con este voltaje, además los relés de control que se implantó en las salidas del PLC para mando de las bombas también requieren de esta alimentación de voltaje.

Para esto se realizó el cálculo de las cargas, para determinar la capacidad de la fuente la cual debe proveer el voltaje y corriente necesaria para los dispositivos conectados a la misma, en la Tabla 15 se observa cómo quedan especificados los valores de cargas.

Tabla 15.
Cargas para dimensionamiento de fuente de voltaje DC

Cantidad	Descripción	Carga por elemento (In)
1	Flujómetro electromagnético	60 [mA]
2	Relés de control	60 [mA]
1	Trasmisor indicador de presión	85 [mA]
1	Trasmisor indicador de presión diferencial	85 [mA]

Nota: Cargas a las que alimenta la fuente de voltaje DC. Elaborado por: Edwin Carua

La fuente se dimensiona con un 125% de la corriente nominal que consumen los elementos.

$$\text{(Ecuación 1.)} \quad I_{fuente} = 1,25 \times \sum I_n$$

Aplicando la Ecuación 1 para la fuente DC:

$$I_{fuente} = 1,25 \times [60 + (2 \times 60) + 85 + 85] [mA]$$

$$I_{fuente} = 437,5 [mA] \cong 0,44 [A]$$

La corriente total que consumen estos elementos es de $I_{fuente} \approx 0,44$ [A], con este dato, la fuente seleccionada es de la marca Delta mostrada en la Figura 12 la cual tiene una corriente de salida $I=2,5$ [A], suficiente para alimentar todos los elementos conectados. Las especificaciones técnicas de esta fuente se detallan en la Tabla 16.



Tabla 16.
Datos técnicos de la fuente de voltaje

Fuente de voltaje DELTA DRP024V060W1AZ	
Voltaje de alimentación	120 VAC
Frecuencia	60 Hz
Corriente nominal	1,10 A
Eficiencia al 100% de carga	86.0% @ 115VAC
Voltaje de salida nominal	24 VDC
Corriente de salida	2,5 A

Nota: Tabla de características técnicas. Elaborado por: Edwin Carua

2.2.3 Dimensionamiento de protecciones para elementos del tablero de control

Para la protección de los elementos de control del tablero y de las bombas conectadas a este, es necesario que cada uno cuente con un dispositivo termo-magnético capaz de interrumpir la corriente eléctrica provocada por sobrecargas de voltaje y corrientes de cortocircuito. Es necesario separar la bomba periférica de agua de los demás

elementos de control, puesto que la corriente de arranque podría generar caídas de voltaje ocasionando fallas al resto de equipos instalados, la protección para las bombas o motores a probarse en el banco es totalmente independiente del resto de elementos ya que estas utilizan un voltaje trifásico.

Las bombas utilizadas en este proyecto tendrán un arranque directo, para lo cual se utiliza un contactor electromagnético que permite la conexión entre la bomba y la red eléctrica, el cual que es controlado por un circuito eléctrico independiente, así mismo se cuenta con un guardamotor, que se utiliza para la protección individual de cada bomba frente a sobrecargas térmicas.

2.2.4 Dimensionamiento del disyuntor para elementos de control del tablero

Para dimensionar esta protección se requiere conocer los valores de corriente consumida por cada elemento que esté conectado, en la Tabla 17 se muestra la información requerida.

Tabla 17.
Corriente de los elementos de control

Cantidad	Descripción	Corriente nominal (In) por elemento
1	PLC S7-1200 AC/DC/RLY CPU 1212	240 [mA]
1	Fuente de voltaje DELTA	1.1 [A]
2	Controlador sc200	680 [mA]
2	Bobina de contactores para bombas	500 [mA]
5	Luces de indicación	10 [mA]
3	Relé de control AC	80 [mA]

Nota: Descripción de la corriente nominal consumida por elementos de control del tablero.
Elaborado por: Edwin Carua

De acuerdo con la norma NEC (National Electrical Code), en su artículo 210.20 establece que: cuando un circuito de derivación suministra cargas continuas o cualquier combinación de cargas continuas y no continuas, la calificación del dispositivo de sobrecorriente no podrá ser inferior a la carga no continua más el 125% de la carga continua (Earley, Sargent, Coache, & Roux, 2011, pág. 98).

Por lo tanto, las cargas de los elementos de control del tablero deben estar protegidas a no menos del 125% de la corriente calculada.

$$\text{(Ecuación 2.)} \quad I_{EC} = 1,25 \times \sum I_n$$

Aplicando la Ecuación 2 para los elementos de control:

$$I_{EC} = 1,25 \times [240 + 1100 + (2 \times 680) + (2 \times 500) + (5 \times 10) + (3 \times 80)] [mA]$$

$$I_{EC} = 4987,5 [mA] \cong 5 [A]$$

2.2.5 Dimensionamiento de disyuntor para bombas

En la sección IV de la norma NEC en su artículo 430.52 menciona que para determinar el dispositivo de protección contra cortocircuito, este deberá ser capaz de soportar la corriente de arranque del motor y tiene que ser seleccionado de acuerdo con los factores indicados en Tabla 430.52 de la misma norma, se elige según el tipo de motor y tipo de dispositivo de protección (Earley, Sargent, Coache, & Roux, 2011, págs. 662 - 623).

Por lo tanto, para la bomba periférica de agua que utiliza un voltaje de alimentación de 110 [VAC] y que tiene un consumo de corriente de $I_n=11$ [A], la protección se calcula de la siguiente manera:

$$\text{(Ecuación 3.)} \quad I_{WP} = 2,5 \times I_n [A]$$

Aplicando la Ecuación 3 para la bomba de agua:

$$I_{WP} = 2,5 \times 11 [A]$$

$$I_{WP} = 27,5 [A]$$

Para las bombas que se necesiten comprobar, el dimensionamiento se lo realiza teniendo en cuenta que la bomba de mayor potencia a conectarse en el banco de pruebas deberá ser de máximo 7,5 [HP] la cual tiene una corriente a plena carga de 22[A] aproximadamente con un voltaje mínimo de alimentación de 220 [VAC].

(Ecuación 4.)
$$I_{TP} = 2,5 \times I_n [A]$$

Aplicando la Ecuación 4 para la bomba de pruebas:

$$I_{TP} = 2,5 \times 22 [A]$$

$$I_{TP} = 55 [A]$$

Para el dimensionamiento de estas protecciones de acuerdo a la norma NEC se realiza con un 225 % de la corriente a plena carga. En la Tabla 18 se detalla el disyuntor de protección escogido tanto para las bombas como para los elementos de control del tablero.

Tabla 18.
Selección de disyuntores de protección

Descripción	Corriente calculada	Protección seleccionada
Elementos de control del tablero	4,9 [A]	1 breaker de 1 Polo, 6 [A]
Bomba periférica de agua	27,5 [A]	1 breaker de 1 Polo, 32 [A]
Bomba de pruebas	55 [A]	1 breaker de 3 Polos, 63 [A]

Nota: Disyuntores de protección contra sobrecargas de bombas y elementos de control.
Elaborado por: Edwin Carua

2.2.6 Contactor electromagnético para accionamiento de bombas

Para el control de arranque de las bombas es necesario contar con contactores los cuales se han escogido de la siguiente manera: la bomba periférica de agua tendrá un voltaje de alimentación de 110 [VAC], de igual forma para su circuito de control, mientras tanto para las bombas de prueba, estas tendrán un voltaje de alimentación

según sea su requerimiento y puede variar entre 220 y 480 [VAC], mientras que su circuito de control utiliza 110 [VAC]. Se tiene en cuenta la categoría de servicio AC3 que corresponde a la operación de motores jaula de ardilla, de acuerdo con estos requerimientos y tomado como referencia la Figura 13, el contactor elegido para las bombas se observan en la Tabla 19.

Dimensionamiento de contactores

Tipo	Reemplaza a:	Bobina	Tamaño	Intensidad (A)		Potencia del Motor (HP)		Contactos Auxiliares Inteligentes
				AC1	AC3	220 VAC	440 VAC	
3RT2015-1AF01	3RT1015-1AK61	120 VAC	500	18	7	2.0	4.0	1NA
3RT2015-1AP01	3RT1015-1AN21	220 VAC	500	18	7	2.0	4.0	1NA
3RT2016-1AF01	3RT1016-1AK61	120 VAC	500	22	9	3.0	6.0	1NA
3RT2016-1AP01	3RT1016-1AN21	220 VAC	500	22	9	3.0	6.0	1NA
3RT2023-1AG20	3RT1023-1AK61	120 VAC	50	22	9	3.0	6.0	1NA+1NC
3RT2023-1AN20	3RT1023-1AN10	220 VAC	50	22	9	3.0	6.0	1NA+1NC
3RT2024-1AG20	3RT1024-1AK61	120 VAC	50	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC
3RT2024-1AN20	3RT1024-1AN10	220 VAC	50	40	12	4.0	9.0	1NA+1NC
3RT2025-1AG20	3RT1025-1AK61	120 VAC	50	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC
3RT2025-1AN20	3RT1025-1AN10	220 VAC	50	40	16	6.0	12.0	1NA+1NC
3RT2026-1AG20	3RT1026-1AK61	120 VAC	50	50	25	9.0	18.0	1NA+1NC
3RT2026-1AN20	3RT1026-1AN10	220 VAC	50	50	25	9.0	18.0	1NA+1NC
3RT2027-1AG20	3RT1034-1AK61	120 VAC	50	50	32	12.0	20.0	1NA+1NC
3RT2027-1AN20	3RT1034-1AN10	220 VAC	50	50	32	12.0	20.0	1NA+1NC

Figura 13. Tabla para selección de contactores.
Fuente: (Siemens, s.f)

Tabla 19.
Selección de contactores

Descripción	Corriente nominal (In)	Potencia (HP)	Contactor		
			Bobina	Intensidad AC3	Tipo
Bomba periférica de agua	11 [A]	1	120 VAC	16 [A]	3RT2025-1AG20
Bomba de prueba	22 [A]	7,5	120 VAC	32 [A]	3RT2027-1AG20

Nota: Contactores seleccionados para control de bombas. Elaborado por: Edwin Carua

2.2.7 Selección del guardamotor

Según la norma NEC en su artículo 430.32 indica que este dispositivo de protección deberá ser seleccionado para disparar en no más de los siguientes porcentajes de la corriente de placa del motor a plena carga:

- El dispositivo de sobrecarga tiene un tamaño de 125% de la placa del motor para motores con factor de servicio de 1.15 o más y para motores con aumento de la temperatura nominal de 40 °C o menos.
- El dispositivo de sobrecarga tiene un tamaño de 115% de la placa del motor para todos los demás motores (Earley, Sargent, Coache, & Roux, 2011, pág. 617).

Para el caso de las bombas de este proyecto aplica el segundo ítem con el cual se dimensiona la protección con 115% de la intensidad a plena carga de cada bomba, entonces se tiene:

Para la bomba de agua:

(Ecuación 5.)
$$I_{WP} = 1,15 \times I_n [A]$$

Aplicando la Ecuación 5 para la bomba de agua:

$$I_{WP} = 1,15 \times 11 [A]$$

$$I_{WP} = 12,65 [A]$$

Para la bomba de prueba:

(Ecuación 6.)
$$I_{TP} = 1,15 \times I_n [A]$$

Aplicando la Ecuación 5 para la bomba de pruebas:

$$I_{TP} = 1,15 \times 22 [A]$$

$$I_{TP} = 25,3 [A]$$

De acuerdo con los datos calculados y basándose en la Figura 14 los guardamotores seleccionados se muestran en la Tabla 20.

Dimensionamiento de guardamotores

Tipo	Reemplaza a:	Tamaño	Regulación (A) Bimetálico	Cortocircuito
Nuevos Guardamotores SIRIUS Innovations				
3RV 20 11 - 0JA10	3RV 1011 - 0JA10	500	0.7 - 1.0	13
3RV 20 11 - 1AA10	3RV 1011 - 1AA10	500	1.1 - 1.6	21
3RV 20 11 - 1BA10	3RV 1011 - 1BA10	500	1.4 - 2.0	26
3RV 20 11 - 1CA10	3RV 1011 - 1CA10	500	1.8 - 2.5	33
3RV 20 11 - 1DA10	3RV 1011 - 1DA10	500	2.2 - 3.2	42
3RV 20 11 - 1EA10	3RV 1011 - 1EA10	500	2.8 - 4.0	52
3RV 20 11 - 1FA10	3RV 1011 - 1FA10	500	3.5 - 5.0	65
3RV 20 11 - 1GA10	3RV 1011 - 1GA10	500	4.5 - 6.3	82
3RV 20 11 - 1HA10	3RV 1011 - 1HA10 ó 3RV 1021 - 1HA10	500	5.5 - 8.0	104
3RV 20 11 - 1JA10	3RV 1011 - 1JA10 ó 3RV 1021 - 1JA10	500	7.0 - 10.0	130
3RV 20 11 - 1KA10	3RV 1011 - 1KA10 ó 3RV 1021 - 1KA10	500	9.0 - 12.0	163
3RV 2011 - 4AA10	3RV 1021 - 4AA10	50	11.0 - 16.0	208
3RV 2021 - 4BA10	3RV 1021 - 4BA10	50	14.0 - 20.0	260
3RV 2021 - 4CA10	3RV 1021 - 4CA10	50	17.0 - 22.0	286
3RV 2021 - 4DA10	3RV 1021 - 4DA10	50	20.0 - 25.0	325
3RV 2021 - 4NA10	3RV 1031 - 4EA10	50	23.0 - 28.0	364
3RV 2021 - 4EA10	3RV 1031 - 4EA10	50	27.0 - 32.0	400

Figura 14. Tabla para selección de guardamotores.

Fuente: (Siemens, s.f)

Tabla 20.

Selección de guardamotores

Descripción	Corriente calculada	Guardamotor	
		Regulación bimetalico	Tipo
Bomba periférica de agua	12,65 [A]	11 - 16 [A]	3RV2011-4AA10
Bomba de prueba	25,3 [A]	23 - 28 [A]	3RV2021-4NA10

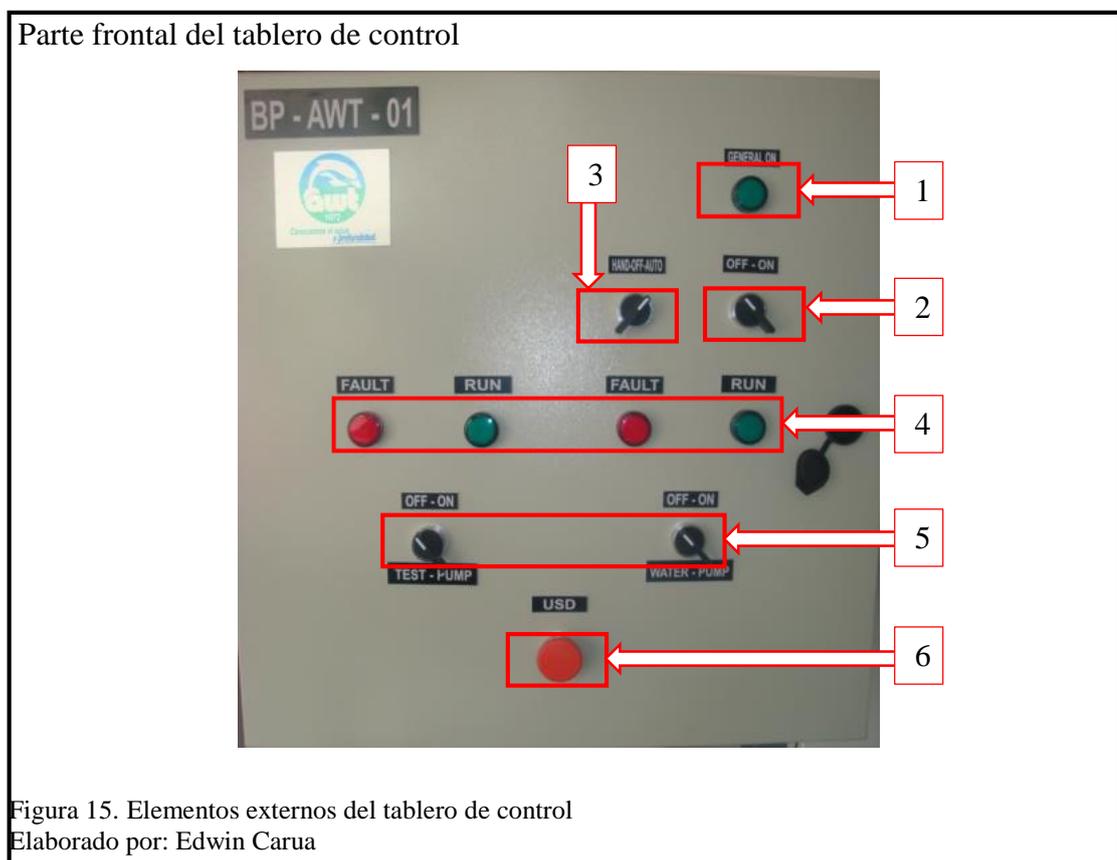
Nota: Guardamotores seleccionados para protección de bombas. Elaborado por: Edwin Carua

2.2.8 Diseño y montaje del tablero de control

El tablero eléctrico de control ha sido construido en tol negro (hierro) recubierto por pintura electrostática en polvo, de dimensiones 600 x 600 x 200 [mm] (alto x ancho x profundidad), con un estándar de protección tipo IP65, este ha sido diseñado para el control y arranque de las bombas, así como también para la verificación de funcionamiento, conexión y desconexión de los distintos instrumentos de medición. El plano diseño esquemático de este tablero se puede apreciar en el Anexo 2.

En la parte frontal del tablero como se muestra en la Figura 15, se ha colocado un selector de dos posiciones (OFF-ON) de encendido general del tablero el cual cuando

se encuentra en posición (ON) el tablero se energiza completamente y en posición (OFF) se desenergiza, conjuntamente se encuentra un selector de tres posiciones (HAND-OFF-AUTO), cuando está en posición (AUTO) el control de las bombas se realiza desde el HMI implementado, en este caso no se podrán manipular las bombas directamente del tablero de control, mientras al estar en posición (HAND) el control se realiza físicamente desde el tablero puesto que cuenta con dos switch de encendido para cada bomba, se tiene luces de indicación del estado de las bombas de encendido (RUN) color verde y falla (FAULT) color roja. Adicional cuenta con un pulsador tipo hongo con retención de paro de emergencia (USD) que apaga todo el proceso en caso de existir una falla severa que amerite activarlo, o de existir fugas de agua que puedan afectar el monitoreo.

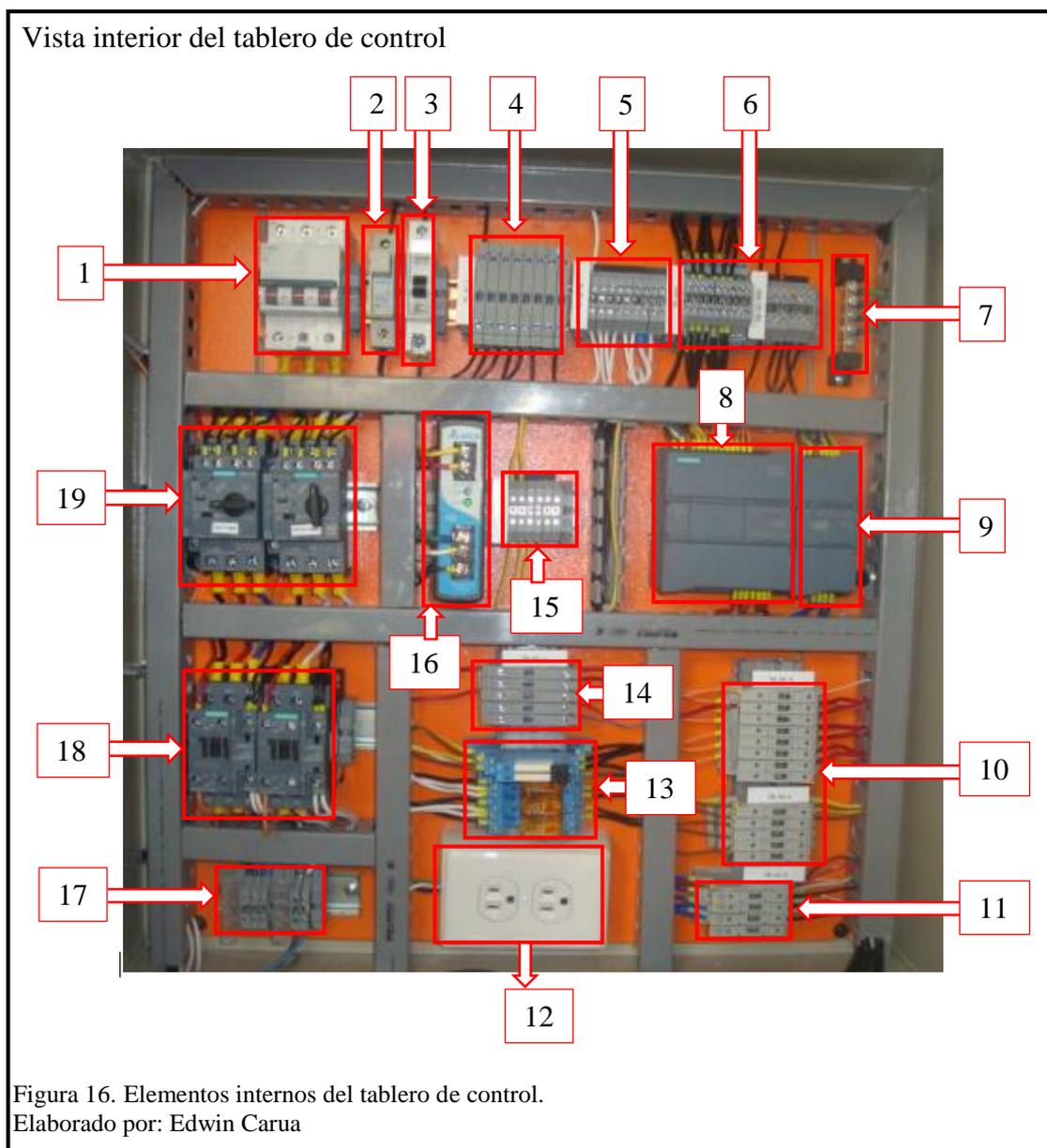


Los elementos colocados en la parte frontal del tablero de control mostrado en la Figura 15 se detallan a continuación:

1. Luz piloto de encendido general
2. Selector de dos posiciones (OFF-ON) de encendido del tablero

3. Selector de tres posiciones (HAND-OFF-AUTO)
4. Luces piloto de encendido o falla de bombas
5. Selector de dos posiciones (OFF-ON) de encendido de bombas
6. Pulsador tipo hongo de paro de emergencia

En la Figura 16 se muestra la parte interna del tablero, en la cual se observa cada elemento que lo conforma.



Este cuenta con un PLC S7-1200 CPU 1212C y un módulo de entradas analógicas los cuales están encargados de adquisición de señales para el monitoreo de los

instrumentos de medición y para el control de las bombas en modo automático, además de borneras con fusible de entradas y salidas del PLC que sirven como protección de las mismas, adicional a esto se cuenta con una fuente de 24 [V] en corriente continua, borneras para el conexionado de equipos eléctricos, borneras de distribución de fase y neutro, relés de 24 [VDC] y 100 [VAC], un tomacorriente que funciona a 110 [VAC], contactores y guardamotores y una barra de puesta a tierra. De acuerdo a la Figura 16 los elementos que conforman el tablero de control se especifican a continuación:

1. Breaker 3 polos, 63 [A]
2. Breaker 1 polo, 32 [A]
3. Breaker 1 polo, 6 [A]
4. Borneras con fusible para distribución de fase
5. Borneras para distribución de neutro
6. Borneras para conexión
7. Barra para tierra
8. PLC Siemens S7-1200 CPU-1212 AC/DC/RLY
9. Módulo de entradas análogas 6ES7231-4HD32-0XB0
10. Borneras con fusible para entradas y salidas de PLC
11. Borneras con fusible para conexión de instrumentos de medición
12. Tomacorriente
13. Relés de control
14. Borneras con fusible para distribución 24 [VDC] positivo
15. Borneras para distribución de 24 [VDC] negativo
16. Fuente de voltaje 24 [VDC]
17. Borneras de distribución
18. Contactores electromagnéticos
19. Guardamotores

2.3 Diseño de planos eléctricos

2.3.1 Diagrama de conexión eléctrico

El tablero requiere de alimentación 110 [VAC] la cual será distribuida a los elementos y circuitos de control mediante borneras tanto de fase y neutro independientes unas de otras, para protección de los mismos cuenta con un breaker de 1 polo 6 [A] tiene un selector de dos posiciones (HS1) que permite energizar el tablero, además el voltaje de fase pasa por un pulsador tipo hongo que permite cortar la circulación de corriente en caso de fallas, así mismo se tiene un selector de tres posiciones (HOA) para seleccionar el modo manual o automático, estos modos de funcionamiento cuentan con borneras de distribución según sea el caso. El plano de referencia se puede observar en el Anexo 3.

2.3.2 Diagrama de conexión de bombas

Para el funcionamiento tanto en modo manual y automático de las bombas es necesario contar con circuitos eléctricos, utilizados para controlar los circuitos de potencia que permiten el encendido y apagado de estas bombas, siempre y cuando se haya cumplido los requerimientos necesarios para maniobrar estos equipos, de esta manera se encargan de la transferencia de energía eléctrica que permite que el sistema entre en marcha sin pérdidas de tiempo.

Para encender cada bomba se dispone de un selector de dos posiciones (HS2 y HS3) respectivamente que actúan solamente en modo manual, se tiene dos relés (R1 y R2) que al pasar de modo manual a automático deshabilita el control de los switch de encendido de bombas, de esta manera, no se pueden maniobrar en el modo automático, adicional cuando no haya nivel de agua en el tanque de almacenamiento la boya de nivel bajo activa un relé (C1-AUX1) que desconecta el circuito y apaga las dos bombas, cuando el guardamotor detecta una sobrecarga abre el circuito desactivando la bomba correspondiente . Los circuitos de conexión y control se pueden apreciar en el Anexo 4 y Anexo 5.

2.3.3 Diagramas de distribución AC y DC

La alimentación eléctrica de los distintos equipos como PLC, fuente de voltaje, analizadores químicos, tomacorriente que necesitan 110 [VAC] se realiza mediante la distribución de fase y neutro de las borneras correspondientes las cuales permiten tener un adecuado orden de conexión, así mismo para alimentación de 24 [VDC] se realiza de un grupo diferente de borneras de distribución de voltaje positivo y negativo, el cual es utilizado para el flujómetro electromagnético y para suministrar de voltaje en las borneras de entradas y salidas del PLC así como para alimentación de los instrumentos de medición. Los diagramas de distribución se muestran en los Anexos 6 y 7.

2.3.4 Diagrama de conexión de entradas y salidas del PLC

En la Tabla 21 se describen las entradas y salidas del PLC S7-1200 CPU1212C.

Tabla 21.

Entradas y salidas del PLC

Entrada PLC	Elemento	Descripción
I0.0	FIT	Flujómetro electromagnético por pulsos
I0.1	KM1	Estado (encendido/apagado) de la bomba de prueba
I0.2	MP1	Estado de falla de bomba de prueba
I0.3	KM2	Estado (encendido/apagado) de la bomba de agua
I0.4	MP2	Estado de falla de bomba de agua
I0.5	HOA/A	Control automático del sistema
I0.6	USD	Paro de emergencia
I0.7	SPARE	Entrada libre
Salidas PLC	Relé	Descripción
Q0.0	R31	Bobina de contactor para bomba de agua
Q0.1	R32	Bobina de contactor para bomba de prueba
Q0.2	SPARE	Salida libre
Q0.3	SPARE	Salida libre
Q0.4	SPARE	Salida libre
Q0.5	SPARE	Salida libre

Nota: Descripción de conexión de entradas y salidas del PLC. Elaborado por: Edwin Carua

Para controlar las bombas en modo automático y conocer el estado de las mismas tanto en modo manual o automático se realiza la conexión de estas señales al PLC mediante borneras con fusibles las mismas que permiten proteger las entradas y salidas físicas del PLC en caso de ocurrir alguna falla o cortocircuito. El diagrama de conexión se puede observar en el Anexo 8

2.3.5 Esquema de entradas análogas

Para el monitoreo de funcionamiento de los instrumentos de medición es necesario que las señales análogas de estos se conecten al módulo de entradas analógicas mediante borneras de conexión de tres niveles con fusible las cuales permiten proteger el módulo en caso de sobrealimentación del instrumento. En la entrada AI0 se conectará solamente transmisores de presión, para la entrada AI1 solo transmisores de presión diferencial, para la entrada AI2 simplemente analizadores de cloro, y para la entrada AI3 se puede conectar ya sean analizadores de pH o de oxígeno disuelto uno solo a la vez. El proyecto está diseñado solamente para aceptar señales eléctricas de 4–20 [mA]. El diagrama de conexión se observa en el Anexo 9. Cada bornera esta designada para la conexión del instrumento correspondiente que se detalla en la Tabla 22.

Tabla 22.
Entradas análogas

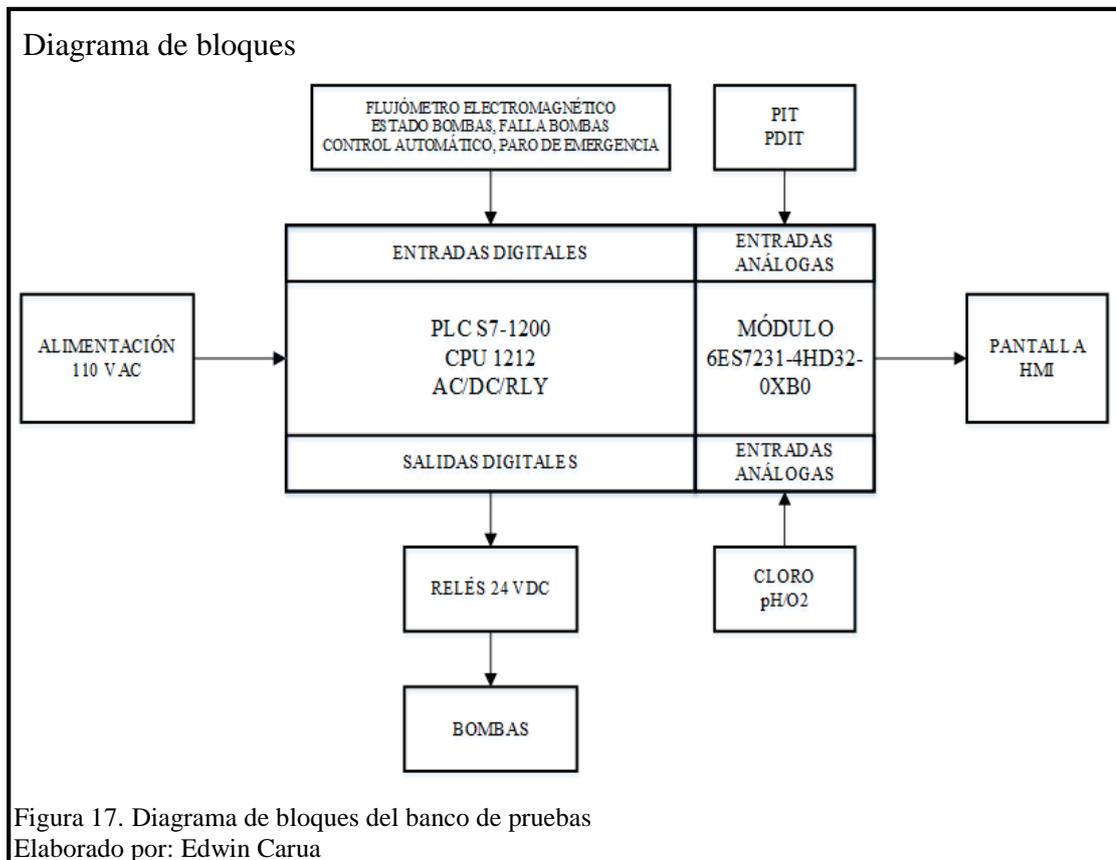
Entrada	Elemento	Descripción
AI0	PIT	Señal 4-20mA de transmisor indicador de presión
AI1	PDIT	Señal 4-20mA de transmisor indicador de presión diferencial
AI2	CL	Señal 4-20mA de analizador de cloro libre
AI3	PH/O2	Señal 4-20mA de analizador de pH u oxígeno disuelto

Nota: Descripción de conexión de entradas análogas al módulo. Elaborado por: Edwin Carua

2.4 Desarrollo del programa del PLC

2.4.1 Diagrama de bloques del banco de pruebas

En la Figura 17 se puede observar el diagrama de bloques general que permite conocer cómo está compuesto el banco de pruebas para su control y adquisición de señales mediante el PLC y su respectivo módulo analógico, y de igual forma para la verificación de funcionamiento de los instrumentos de medición.



2.4.2 Diagrama de flujo del PLC

Para comprender adecuadamente la implementación del programa realizado en el PLC, en la Figura 18 se muestra el diagrama de flujo correspondiente.

Diagrama de flujo

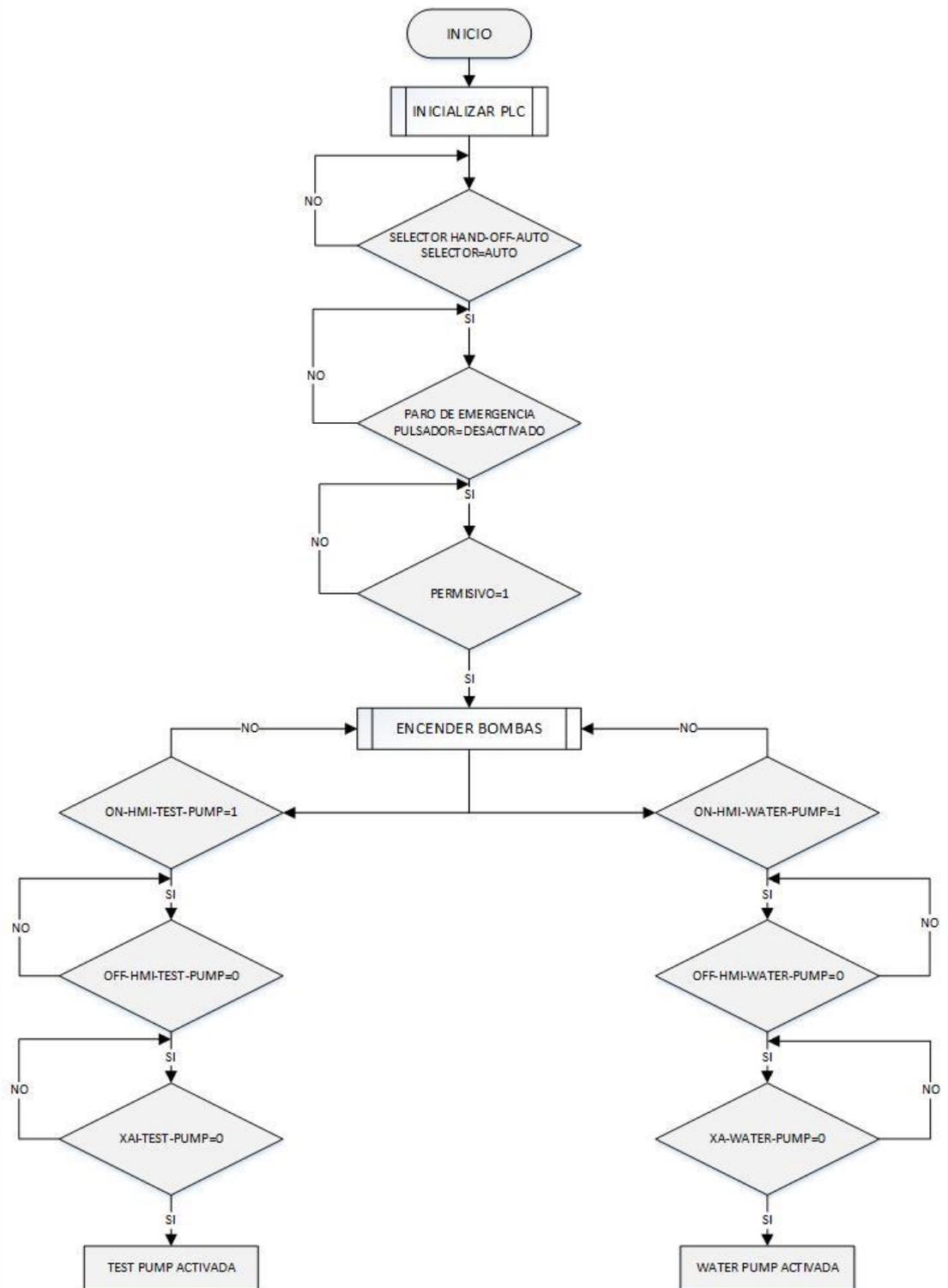


Figura 18. Diagrama de flujo del programa del PLC
Elaborado por: Edwin Carua

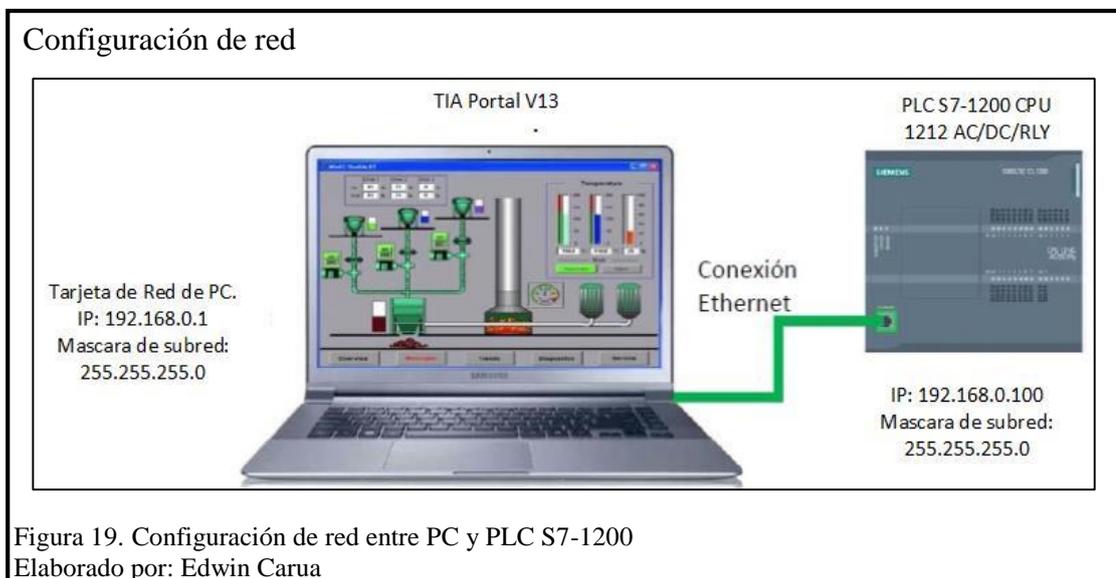
El encendido de las bombas actúa solamente dependiendo de la orden que el operador le dé al PLC por medio del HMI.

2.5 Desarrollo de la interfaz hombre máquina (HMI)

Permite la interacción, supervisión y control del operador con el sistema, y para obtener la información de funcionamiento necesaria registrada por cada instrumento, se ha desarrollado una interfaz gráfica amigable mediante el modo Runtime que ofrece el software TIA Portal V13, este software permite el procesamiento y visualización de datos provenientes del PLC.

Para desarrollar la interfaz gráfica se debe crear la estación PC dentro de TIA Portal quien va a ser el servidor de la red. Para que esta pueda comunicarse con el PLC se crea un enlace virtual entre ambas, este enlace permite interconectarse con la estación PC, que básicamente va a ser el HMI del sistema y con la que se puede visualizar las variables y monitorear el proceso en tiempo real desde la propia pantalla de la PC física sin necesidad de utilizar pantallas HMI adicionales, además de ser la encargada de adquirir la información de los instrumentos para que luego pueda ser mostrada y registrada en la base de datos.

El la Figura 19 se muestra la topología de red entre la PC y el PLC.



En la Figura 20 se observa el enlace virtual que se realiza entre la estación PC y el PLC necesarios para la comunicación entre ambas.

Enlace virtual

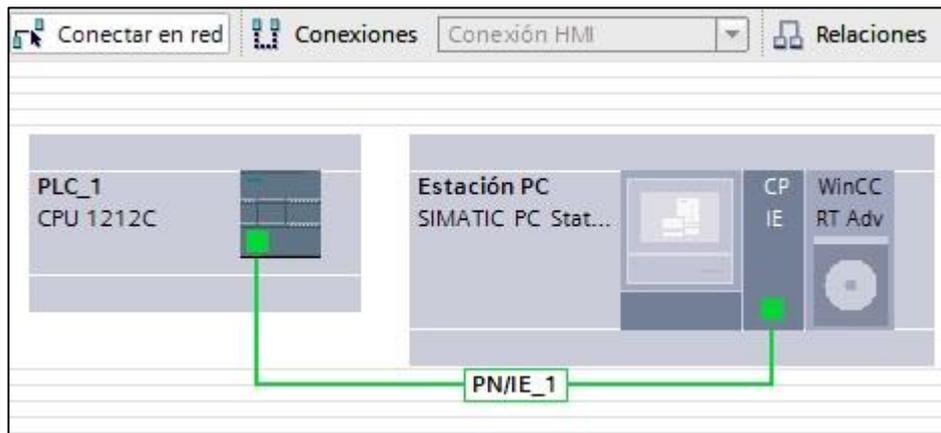


Figura 20. Enlace virtual entre estación PC y PLC
Elaborado por: Edwin Carua

Una vez realizadas estas configuraciones se generan las diferentes pantallas que intervienen en la visualización del HMI para verificar el estado de cada instrumento según sea el caso. Para el diseño se genera un diagrama de bloques de la estructura jerárquica de las pantallas para tener un sistema ordenado, la cual se muestra en la Figura 21.

Estructura jerárquica de HMI

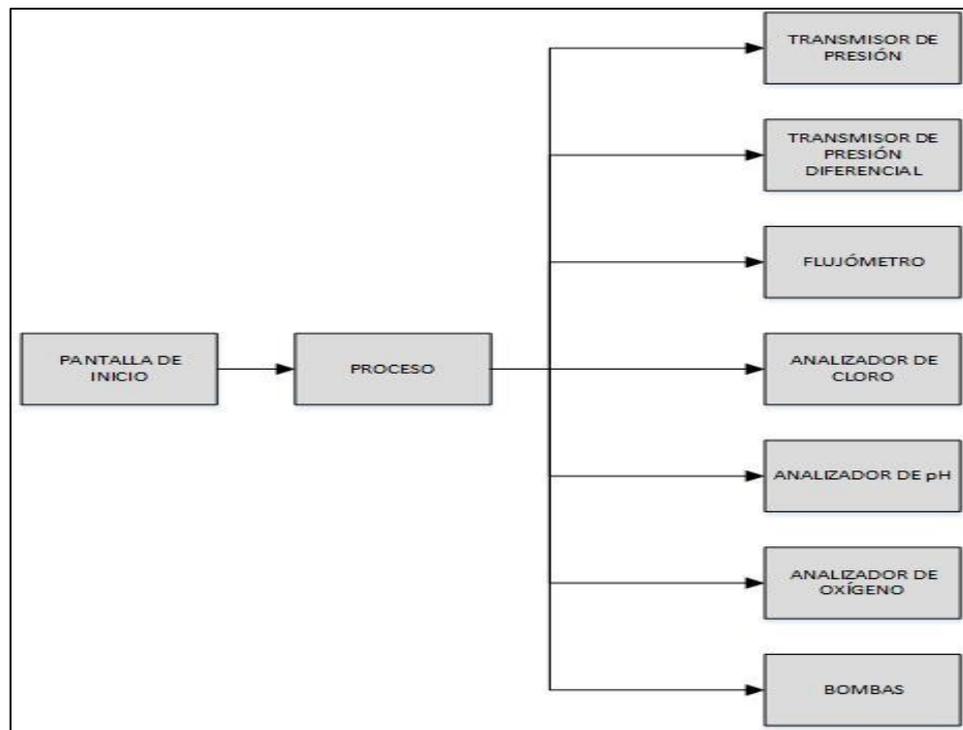


Figura 21. Diagrama de bloques de la estructura del HMI
Elaborado por: Edwin Carua

La Figura 22 muestra la pantalla de inicio del HMI que se genera al ingresar en modo Runtime, en la cual se puede apreciar un botón INICIAR el que permite ingresar a la pantalla PROCESO, a su vez cuenta con un botón SALIR el cual al presionarlo finaliza el modo Runtime.



En la Figura 23 se observa una réplica del proceso general que cuenta con indicadores de los diferentes instrumentos de medición que permiten monitorear cual es el valor de la variable de cada uno de ellos en tiempo real, desde esta pantalla se puede controlar el encendido o apagado de la bomba de agua así como verificar su estado de funcionamiento, también cuenta con botones de rápido acceso a las diferentes pantallas de estados de instrumentos.

Adicional se tiene un botón de paro de emergencia que detiene el proceso en caso de fallas o fugas de agua pero simplemente cuando se encuentra en modo automático, cuando se encuentra en modo manual y se ha presionado el paro de emergencia en esta y todas las pantallas se pueden observar una indicación de que este botón se ha activado, desde aquí también se puede apreciar si el sistema se encuentra en modo manual o modo automático, cabe recalcar que la verificación de los instrumentos se puede realizar en cualquier modo de operación del banco de pruebas, mas no el control de las bombas.

Pantalla de proceso general

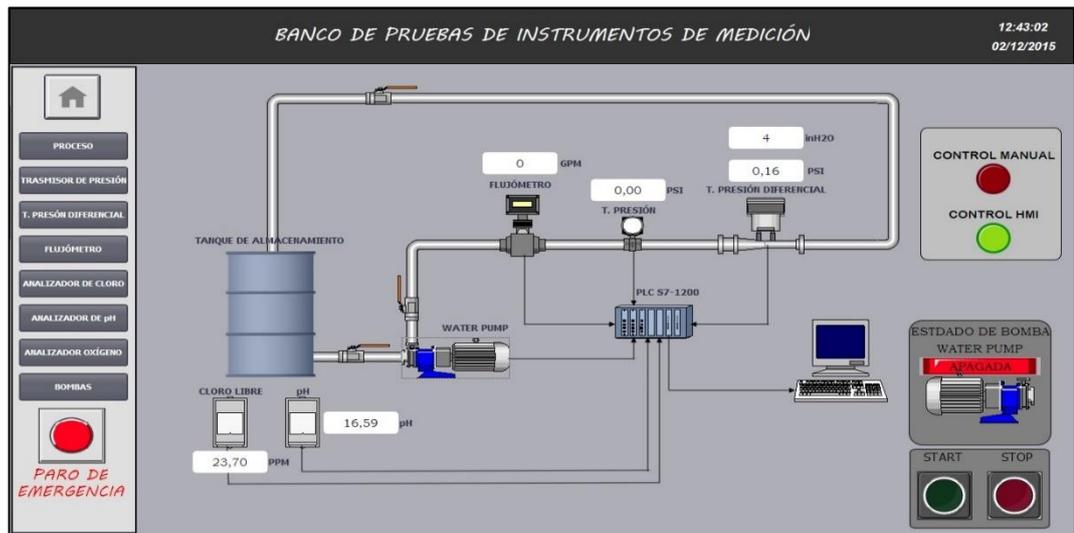


Figura 23. Diagrama del proceso general del banco de pruebas
Elaborado por: Edwin Carua

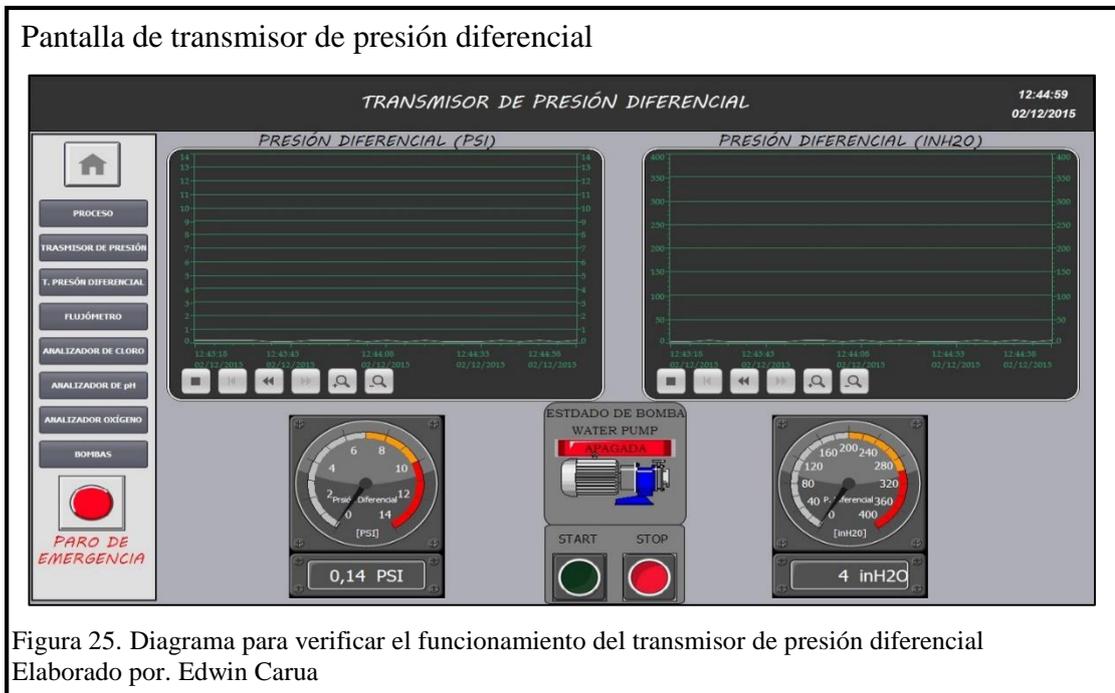
En la Figura 24 se tiene la pantalla que monitorea el funcionamiento del transmisor de presión, esta cuenta con un trend view (visor de curvas) en el cual se observa el valor de la variable en relación con el tiempo, cuenta con un campo entradas/salidas que está conectado a la variable del proceso y permite escribir el valor máximo y mínimo de la escala de medición del transmisor y así se realice el escalonamiento en el programa del PLC.

Pantalla del transmisor de presión

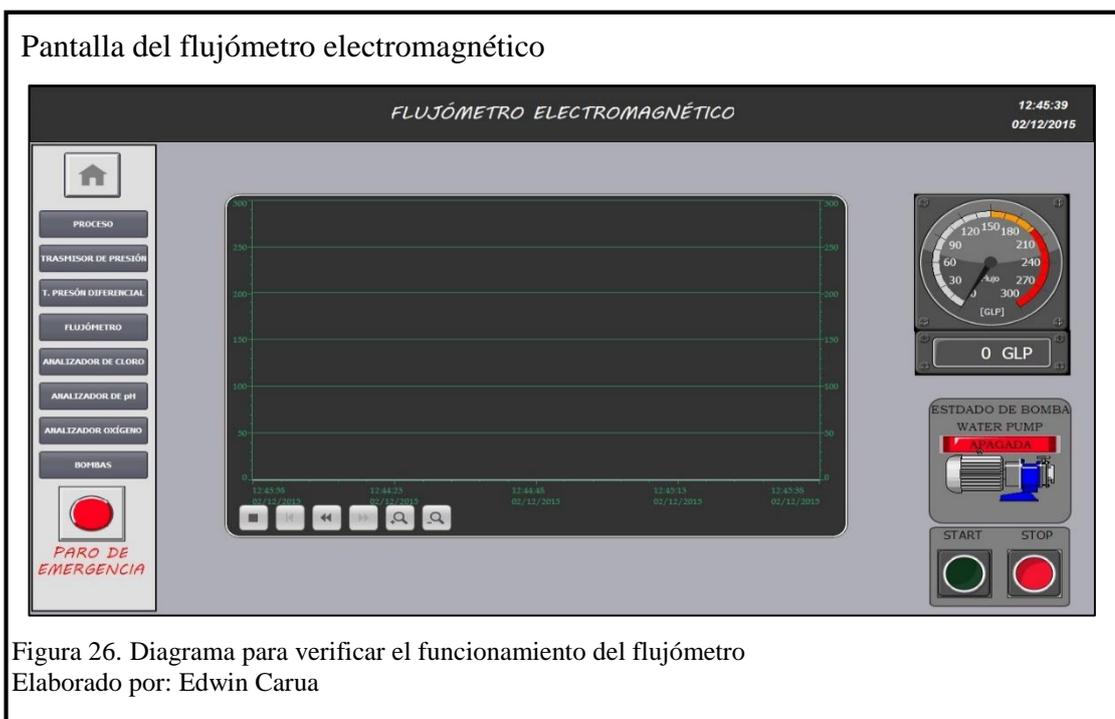


Figura 24. Diagrama para verificar el funcionamiento del transmisor de presión
Elaborado por: Edwin Carua

La Figura 25 muestra la pantalla para monitoreo del transmisor de presión diferencial la cual tiene dos visores de curvas que permiten observar el valor de la variable tanto en [PSI] como en pulgadas de agua.



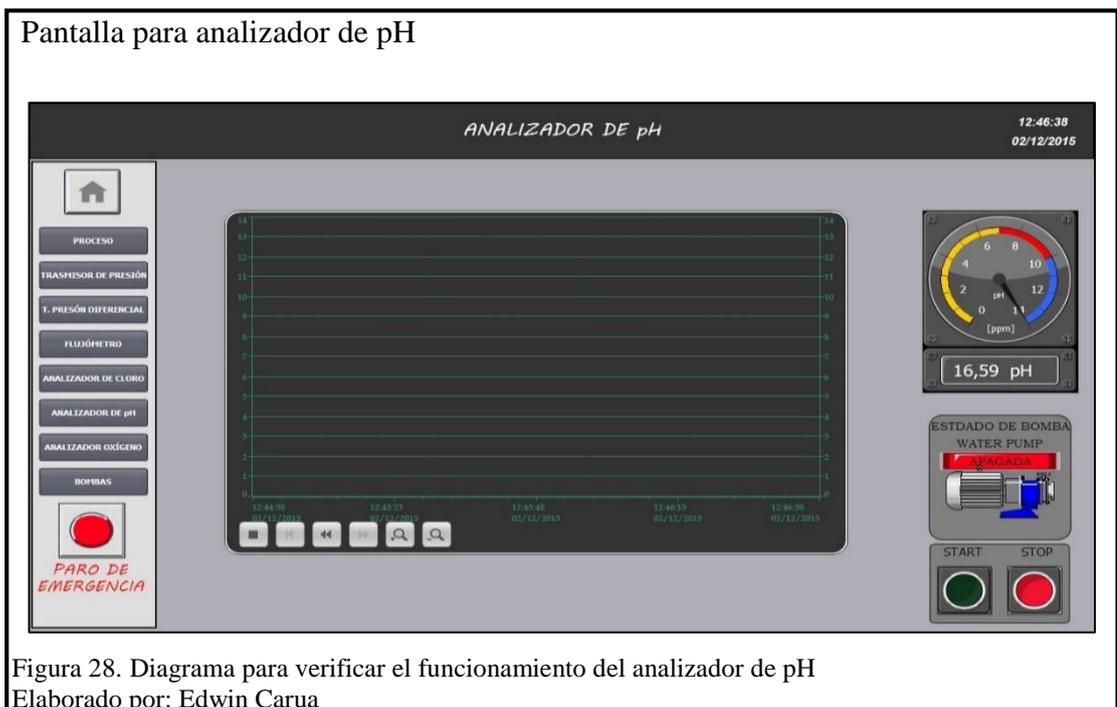
La Figura 26 muestra la pantalla para monitoreo del flujómetro electromagnético.



La Figura 27 muestra la pantalla para monitoreo del analizador de cloro, en esta y cada una de las pantallas cuenta con un visor de curvas respectivo para observar el comportamiento de la variable en relación con el tiempo y también con botones utilizados para el control de la bomba de agua.



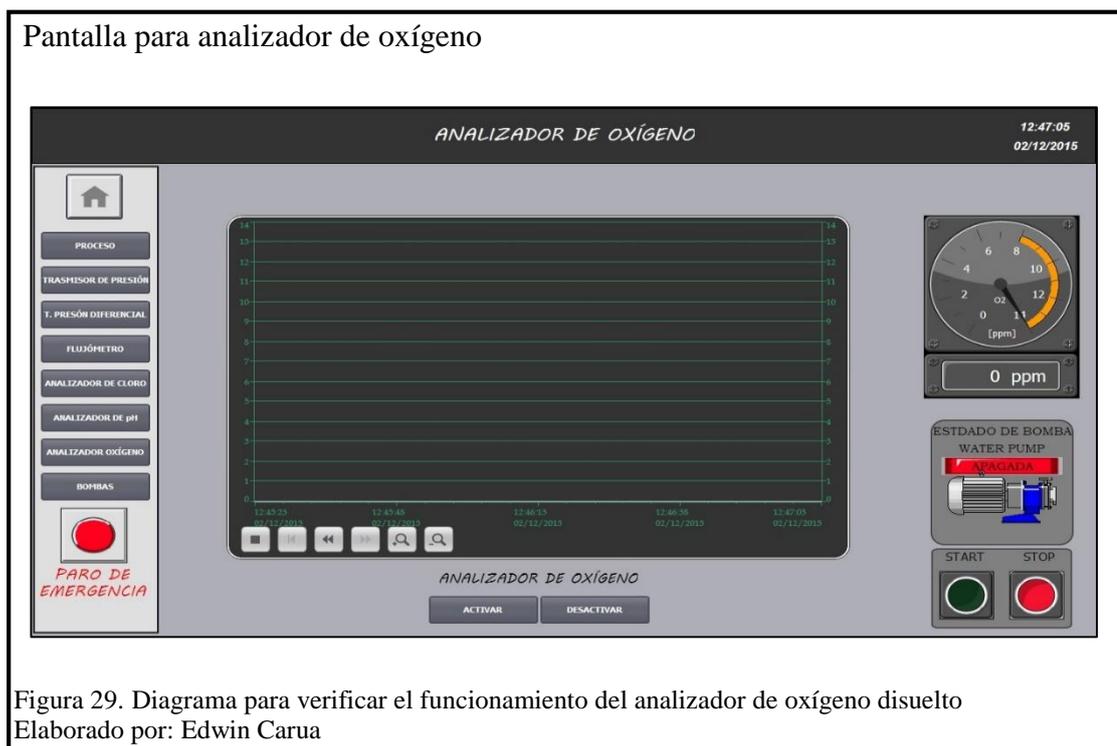
En la Figura 28 se observa la pantalla para monitoreo del analizador de pH.



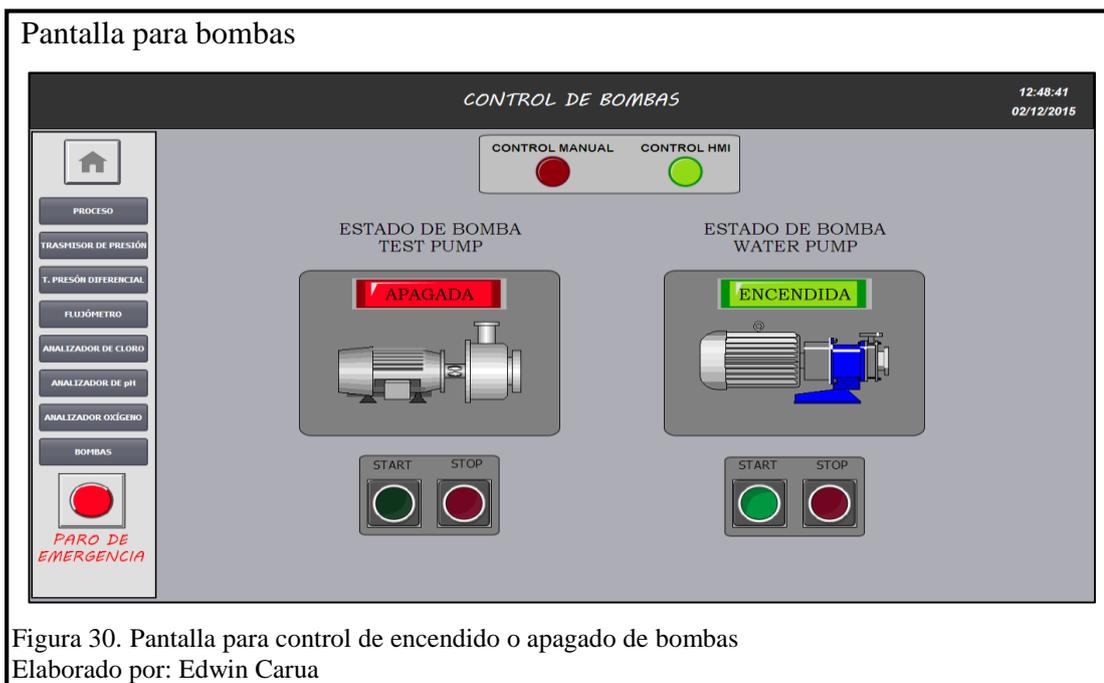
La pantalla para el monitoreo del analizador de oxígeno disuelto se muestra en la Figura 29, que además de contar con su respectivo visor de curvas cuenta con dos botones:

- Activar, este se presiona simplemente cuando en las borneras de conexión respectivas se ha desconectado la señal del analizador de pH y se ha conectado la señal de analizador de oxígeno.
- Desactivar, que se utiliza una vez que se ha terminado la verificación de funcionamiento del analizador de oxígeno y se requiere realizar otra prueba con el analizador de pH.

Esto se realizó para comprobar tanto el analizador de oxígeno disuelto como el de pH utilizando las mismas entradas análogas del módulo, ya que de esta manera se ahorró costos de construcción del banco de pruebas.



Para controlar el encendido y apagado de las bombas, se creó una pantalla mostrada en la Figura 30, desde esta pantalla se puede visualizar el estado de operación en el que se encuentra cada bomba (encendida, apagada o falla).



2.6 Base de datos

Los datos generados por los diferentes instrumentos de medición van a ser guardados en TIA Portal por medio de la herramienta ficheros, este archivo contiene los valores de las variables para su posterior análisis.

Estos ficheros contienen variables del proceso que se desea almacenar, para este proyecto se han creado seis con una variable para cada instrumento a monitorear en el banco de pruebas.

Para guardar estos ficheros se lo realiza mediante una base de datos, ya que TIA Portal no cuenta con esta herramienta, sino más bien genera una lista que contiene el valor de las variables, la fecha y hora en que se registró y el ciclo de actualización, es necesario crear una base de datos, para lo cual se requiere utilizar el software Microsoft SQL Server 2008, de esta manera, TIA Portal puede acceder a esta base para escribir y almacenar los datos de las variables de cada instrumento.

Una vez creada la base de datos y del mismo modo asignada las variables en la opción fichero del software TIA Portal se genera una tabla automáticamente en SQL

Server que permite almacenar las diferentes variables. En la Figura 31 se observa las tablas donde se almacenan las variables de cada uno de los instrumentos.

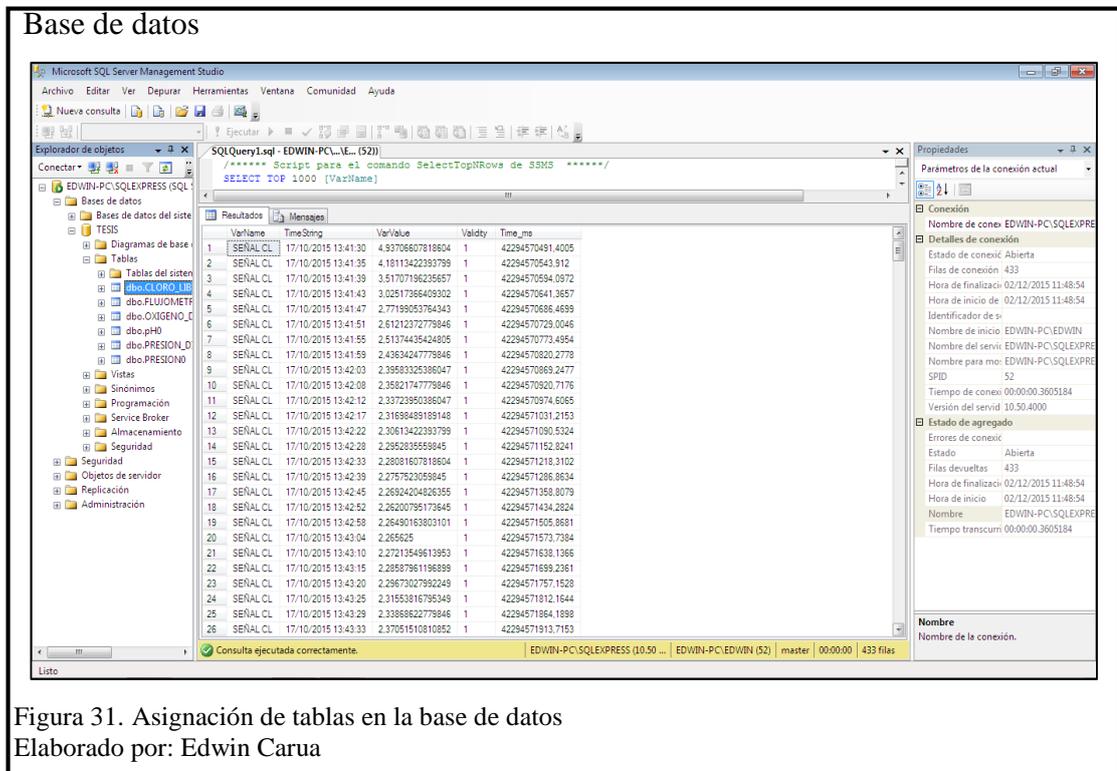


Figura 31. Asignación de tablas en la base de datos
Elaborado por: Edwin Carua

CAPÍTULO 3

PRUEBAS Y RESULTADOS

Este capítulo describe las pruebas y resultados realizados para analizar el funcionamiento y operación de los instrumentos de medición montados en el banco, así como para ratificar la operatividad del mismo.

3.1 Pruebas hidráulicas

Debido a que el proyecto trata de la construcción de un banco de pruebas por el cual circula agua, en primer lugar, es necesario realizar una prueba de circulación de agua por las tuberías y accesorios que lo conforman, así como verificar el retorno de la misma hacia el tanque de almacenamiento sin que existan fugas.

Se tiene en cuenta que la tubería y accesorios utilizados son de material PVC plegable y en algunas otras secciones del banco es roscable, con estas consideraciones y una vez armada completamente la tubería hidráulica se procede con la respectiva prueba utilizando la bomba de agua periferia APm75 a una presión de 90 [PSI] durante un periodo de tiempo de cuatro horas. Esta prueba se puede observar en la Figura 32.



De acuerdo con esta prueba se pudo observar que con la mayor presión que suministra la bomba no se detectaron fugas de agua en todo el banco, lo que garantiza que la tubería y demás accesorios resisten a la presión respecto a sus especificaciones técnicas, y se comprueba que se encuentran correctamente acopladas.

3.2 Pruebas de funcionamiento de los instrumentos de medición

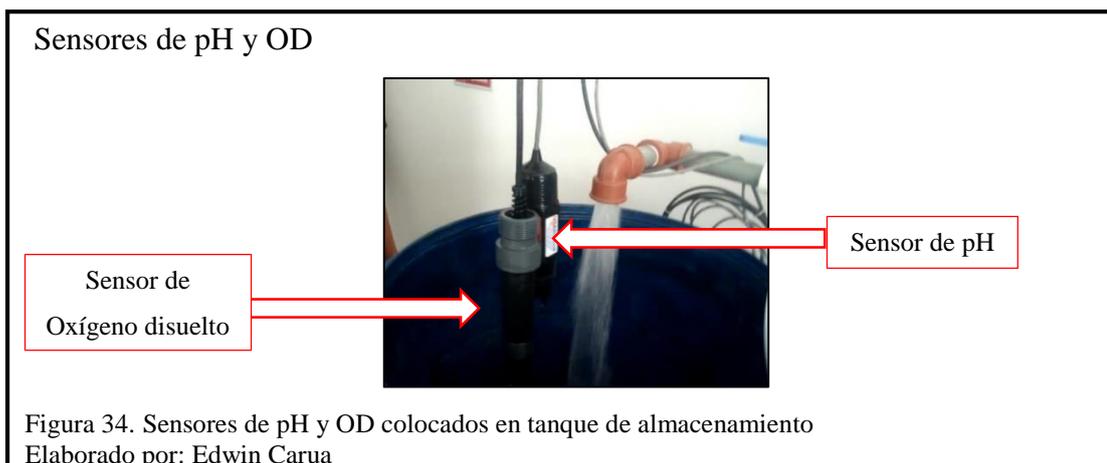
Las pruebas de funcionamiento y monitoreo de cada instrumento tiene un tiempo de duración de dos horas, mientras que la adquisición de datos se realiza en intervalos diez minutos y estos se irán guardando en la base de datos creada.

Una vez conectados los instrumentos se procede a energizar el tablero de control, de esta manera a su vez se enciende cada instrumento de medición que se puede apreciar en la Figura 33.



3.2.1 Pruebas de analizador de pH y oxígeno disuelto

Una vez conectados los equipos se verifica que el controlado sc200 está encendido, de esta manera, se descarta que tengan problemas de alimentación de voltaje, para realizar la prueba de medición de pH y oxígeno se verifica que ambos sensores estén colocados en el tanque de almacenamiento como se muestra en la Figura 34.



Después de verificar estos parámetros se procede con la prueba de funcionamiento respectiva del analizador de pH, en la Tabla 23 se observan los datos adquiridos y almacenados durante la prueba.

Tabla 23.

Muestras de medición de pH

ÍTEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR [pH]
1	SEÑAL pH	17/10/2015 11:09:27	7,526114464
2	SEÑAL pH	17/10/2015 11:19:27	7,52763319
3	SEÑAL pH	17/10/2015 11:29:27	7,52763319
4	SEÑAL pH	17/10/2015 11:39:27	7,527126312
5	SEÑAL pH	17/10/2015 11:49:27	7,526114464
6	SEÑAL pH	17/10/2015 11:59:27	7,525608063
7	SEÑAL pH	17/10/2015 12:09:27	7,527126312
8	SEÑAL pH	17/10/2015 12:19:27	7,526114464
9	SEÑAL pH	17/10/2015 12:29:27	7,527126312
10	SEÑAL pH	17/10/2015 12:39:27	7,526114464
11	SEÑAL pH	17/10/2015 12:49:27	7,527126312
12	SEÑAL pH	17/10/2015 12:59:27	7,526114464

Nota: Datos tomados de la base de datos de analizador de pH. Elaborado por: Edwin Carua

Se continúa con la prueba de verificación para el analizador de oxígeno disuelto y los datos registrados se presentan en la Tabla 24.

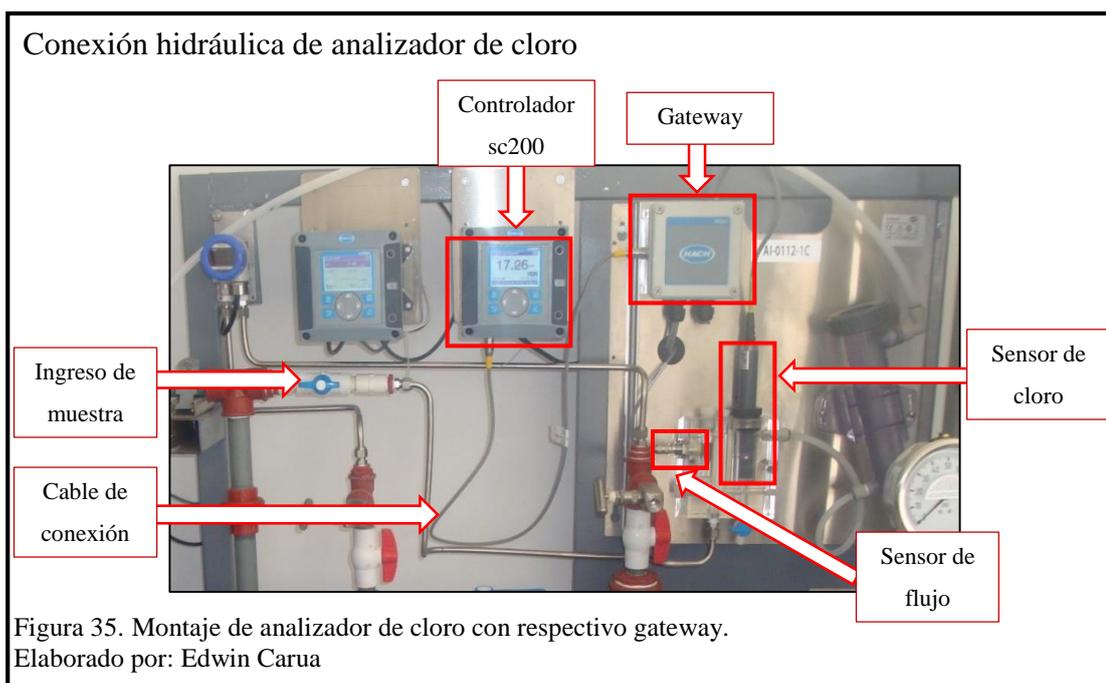
Tabla 24.

Muestras de medición de oxígeno disuelto

ÍTEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR [ppm]
1	SEÑAL O2	17/10/2015 13:32:12	3,348380089
2	SEÑAL O2	17/10/2015 13:42:12	3,353443623
3	SEÑAL O2	17/10/2015 13:52:12	3,353443623
4	SEÑAL O2	17/10/2015 14:02:12	3,360025883
5	SEÑAL O2	17/10/2015 14:12:12	3,358507156
6	SEÑAL O2	17/10/2015 14:22:12	3,361545563
7	SEÑAL O2	17/10/2015 14:32:12	3,365595818
8	SEÑAL O2	17/10/2015 14:42:12	3,366102219
9	SEÑAL O2	17/10/2015 14:52:12	3,364077091
10	SEÑAL O2	17/10/2015 15:02:12	3,368127823
11	SEÑAL O2	17/10/2015 15:12:12	3,367621899
12	SEÑAL O2	17/10/2015 15:22:12	3,368634224

Nota: Datos tomados de la base de datos de analizador de oxígeno. Elaborado por: Edwin Carua

3.2.2 Pruebas del analizador de cloro



Al realizar las pruebas del analizador de cloro se debe considerar la conexión hidráulica que se muestra en la Figura 35, en la cual se observa que el ingreso de agua al analizador CLF10sc se realiza desde la tubería hidráulica principal puesto que este analizador requiere de un caudal de no menos 3 [l/hora] para que la medición de cloro libre sea confiable. Para la comunicación del sensor de cloro con el controlador sc200 es necesario conectar el gateway con el controlador mediante un cable de conexión.

Para comprobar que el caudal de ingreso sea el adecuado a la celda donde se encuentra el sensor de cloro, este analizador cuenta con sensor de flujo que tiene un led de indicación que se enciende cuando el caudal es el correcto.

Una vez que se compruebe que las conexiones tanto hidráulicas y eléctricas sean las indicadas y que el sensor de flujo tenga el led encendido se procede con la prueba respectiva del analizador. Los valores de medición tomados en la prueba de funcionamiento de este analizador se muestran en la Tabla 25.

Tabla 25.
Muestras de medición del analizador de cloro

ÍTEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR [ppm]
1	SEÑAL CL	17/10/2015 11:09:27	2,771990538
2	SEÑAL CL	17/10/2015 11:19:27	2,612123728
3	SEÑAL CL	17/10/2015 11:29:27	2,513744354
4	SEÑAL CL	17/10/2015 11:39:27	2,436342478
5	SEÑAL CL	17/10/2015 11:49:27	2,395833254
6	SEÑAL CL	17/10/2015 11:59:27	2,358217478
7	SEÑAL CL	17/10/2015 12:09:27	2,337239504
8	SEÑAL CL	17/10/2015 12:19:27	2,316984892
9	SEÑAL CL	17/10/2015 12:29:27	2,306134224
10	SEÑAL CL	17/10/2015 12:39:27	2,295283556
11	SEÑAL CL	17/10/2015 12:49:27	2,280816078
12	SEÑAL CL	17/10/2015 12:59:27	2,275752306

Nota: Datos tomados de la base de datos del analizador de cloro libre. Elaborado por: Edwin Carua

3.2.3 Pruebas de transmisor de presión

El transmisor de presión se ha conectado a la tubería hidráulica principal mediante un arreglo que se conforma de una válvula de bola, esta se utiliza para aislar el instrumento de la línea hidráulica principal impidiendo el paso de agua cuando no se encuentra colocado con el fin de evitar fugas de agua en el banco de pruebas, del mismo modo, se tiene una válvula tipo aguja esta sirve como purga en caso de que se desee despresurizar la línea de agua o si se desea desmontar el PIT. De esta manera, se procede con la prueba de funcionamiento de este instrumento, para ratificar la medición del PIT se tiene instalado en la misma línea hidráulica un manómetro de presión análogo debidamente calibrado como se indica en la Figura 36.



Con este manómetro se verifica la medida proporcionada por el transmisor de presión ya que este manómetro se encuentra calibrado, en consecuencia se puede determinar a simple vista si el PIT funciona adecuadamente. Para variar la presión en la línea hidráulica principal se dispone de una válvula de bola que se encuentra montada al final de la misma, esta permite aumentar la presión según se vaya cerrando la válvula, del mismo modo, la presión disminuye paulatinamente de acuerdo como se abra la válvula. Se presuriza el transmisor a un máximo de 90 [PSI] para verificar la escala de medición del mismo. La señal de presión medida por el transmisor es enviada al PLC y esta se registra en la base de datos, estos datos almacenados se los puede apreciar en la Tabla 26.

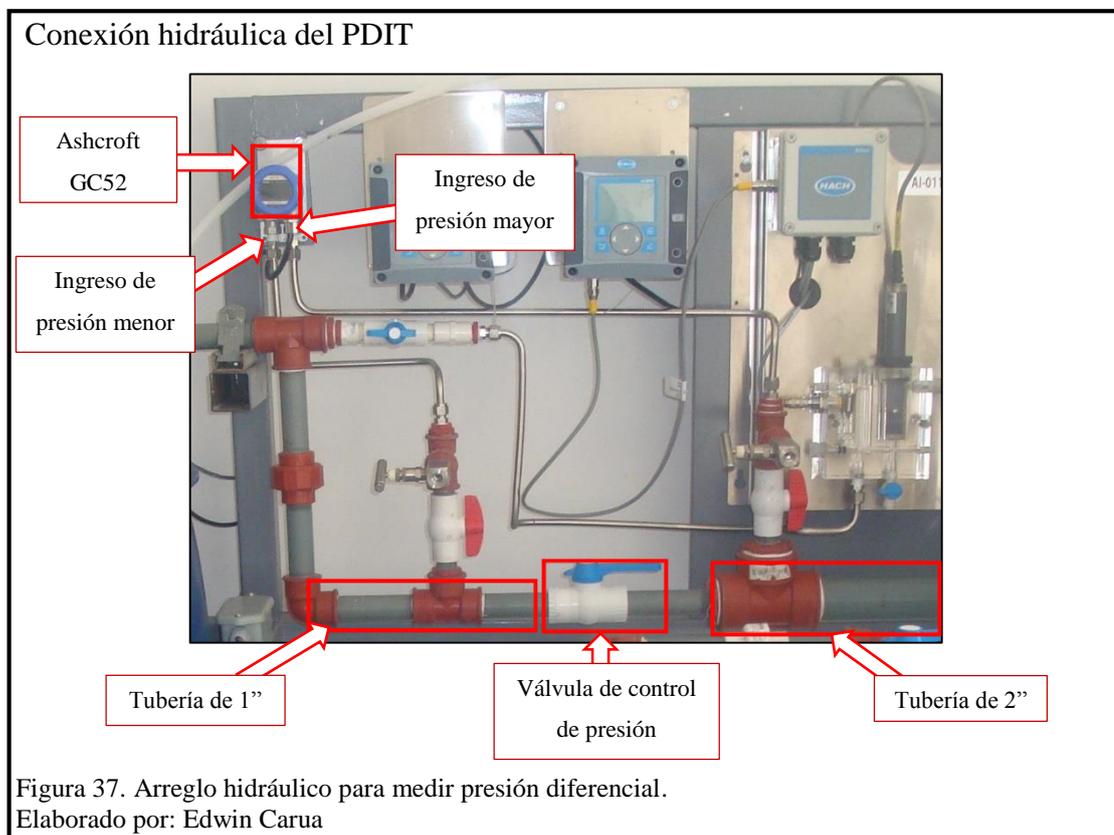
Tabla 26.

Muestras de medición del PIT

ÍTEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR [PSI]
1	SEÑAL PIT	17/10/2015 11:09:27	3,561498966
2	SEÑAL PIT	17/10/2015 11:19:27	3,565115776
3	SEÑAL PIT	17/10/2015 11:29:27	3,567031255
4	SEÑAL PIT	17/10/2015 11:39:27	3,561498966
5	SEÑAL PIT	17/10/2015 11:49:27	3,567881668
6	SEÑAL PIT	17/10/2015 11:59:27	3,560648066
7	SEÑAL PIT	17/10/2015 12:09:27	3,567881685
8	SEÑAL PIT	17/10/2015 12:19:27	3,561498966
9	SEÑAL PIT	17/10/2015 12:29:27	3,565115776
10	SEÑAL PIT	17/10/2015 12:39:27	3,567031254
11	SEÑAL PIT	17/10/2015 12:49:27	3,561498966
12	SEÑAL PIT	17/10/2015 12:59:27	3,567881685

Nota: Datos tomados de la base de datos del transmisor de presión. Elaborado por: Edwin Carua

3.2.4 Pruebas del transmisor de presión diferencial



Para la conexión hidráulica del transmisor de presión diferencial se ha tomado como referencia el efecto de un tubo Venturi, puesto que al pasar de una tubería de mayor diámetro a una de menor diámetro la presión disminuye debido a que la velocidad del fluido aumenta. Para el banco de pruebas se ha considerado el diseño en el cual para medir la mayor presión se realiza en una tubería de 2” y la presión menor se realiza en una tubería de 1”, al mismo tiempo se ha colocado una válvula de bola de 1” la cual al cerrarla gradualmente aumenta la presión en la tubería de 2”, de esta manera se controla la medición de presión diferencial en el PDIT logrando verificar el funcionamiento del instrumento. En la Figura 39 se observa la conexión hidráulica para la medición de presión diferencial.

Los valores medidos por este instrumento de medición se almacenan en la base de datos, y se muestran en la Tabla 27. La medición de presión diferencial que realiza el PDIT Ashcroft GC52 es en pulgadas de agua pero en la Tabla 27 se muestran en [PSI], esto es debido a que en el programa del PLC se realiza la debida conversión de pulgadas de agua a [PSI] y esa variable asignada a la base de datos.

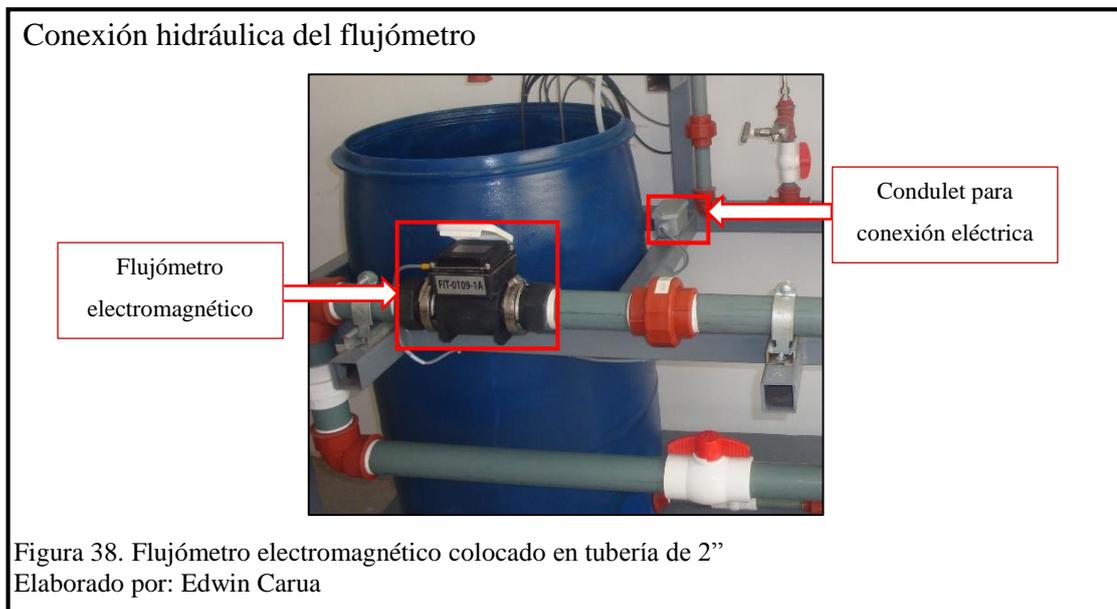
Tabla 27.
Muestras de medición del PDIT

ÍTEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR [PSI]
1	SEÑAL PDIT	17/10/2015 11:09:27	0,154183596
2	SEÑAL PDIT	17/10/2015 11:19:27	0,159410149
3	SEÑAL PDIT	17/10/2015 11:29:27	0,154706248
4	SEÑAL PDIT	17/10/2015 11:39:27	0,156204676
5	SEÑAL PDIT	17/10/2015 11:49:27	0,153591467
6	SEÑAL PDIT	17/10/2015 11:59:27	0,158503894
7	SEÑAL PDIT	17/10/2015 12:09:27	0,146343738
8	SEÑAL PDIT	17/10/2015 12:19:27	0,150978124
9	SEÑAL PDIT	17/10/2015 12:29:27	0,152615622
10	SEÑAL PDIT	17/10/2015 12:39:27	0,144253126
11	SEÑAL PDIT	17/10/2015 12:49:27	0,152615622
12	SEÑAL PDIT	17/10/2015 12:59:27	0,157389054

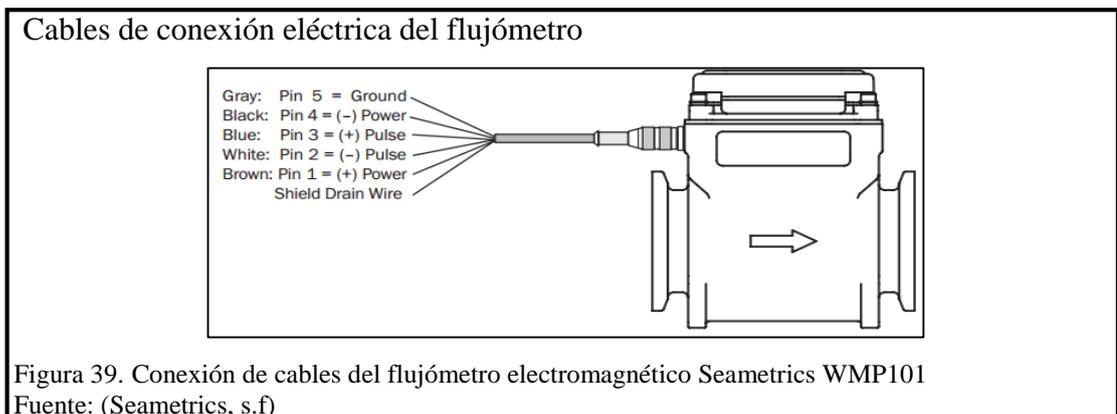
Nota: Datos tomados de la base de datos del PDIT. Elaborado por: Edwin Carua

3.2.5 Pruebas del flujómetro electromagnético

El flujómetro electromagnético está instalado en la tubería de 2" y el flujo que circula por este instrumento es constante de esta manera la medición de este es totalmente confiable, en caso de no contar con un flujo constante es recomendable no realizar la prueba de este instrumento ya que tendría errores de medición. Además, con este instrumento se puede comprobar el flujo proporcionado por las bombas de prueba. En la Figura 38 se observa la conexión hidráulica de este instrumento.



Para la conexión eléctrica se cuenta con una caja condulet en la cual se encuentran cinco pines de conexionado y un pin para conexión de tierra, cada uno está identificado con el respectivo color de cable al que se debe conectar. En la Figura 39 se observa los pines de conexionado del flujómetro.



La prueba de funcionamiento y valores adquiridos se verifican en la Tabla 28.

Tabla 28.

Muestras de medición del flujómetro

ÍTEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR [GPM]
1	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 11:09:27	18,7
2	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 11:19:27	18,6
3	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 11:29:27	18,6
4	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 11:39:27	18,6
5	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 11:49:27	18,6
6	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 11:59:27	18,6
7	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 12:09:27	18,6
8	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 12:19:27	18,6
9	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 12:29:27	18,7
10	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 12:39:27	18,7
11	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 12:49:27	18,6
12	SEÑAL FLUJOMETRO	17/10/2015 12:59:27	18,6

Nota: Datos tomados de la base de datos de flujómetro electromagnético. Elaborado por: Edwin Carua

3.3 Análisis de datos

Después de registrar los datos se procede a realizar el análisis de los valores registrados de cada instrumento medición mediante los siguientes cálculos:

- Media aritmética, que indica el valor que más se aproxima al valor verdadero de la muestra mientras mayor sea el número de medidas, para esto se suman todos los datos y se divide el resultado para el número total de datos.

(Ecuación 7.)
$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

- Desviación estándar, indica como los valores individuales pueden diferir de la media.

(Ecuación 8.)
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N}}$$

- Error estándar, que determina la variabilidad entre las muestras obtenidas de los instrumentos

(Ecuación 9.)
$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \times 100\%$$

De acuerdo con las fórmulas planteadas se realiza el respectivo cálculo con los datos de cada instrumento indicados en las tablas anteriores, en la Tabla 29 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 29.
Cuadro de errores de instrumentos

Parámetro	Presión	Presión diferencial	pH	Oxígeno disuelto	Cloro libre	Flujo
Unidad	PSI	PSI	pH	ppm	ppm	GPM
Media aritmética	3,56454859	0,15339961	7,52666267	3,36129208	2,40837187	18,625
Desviación estándar	0,00299566	0,00456129	0,00069795	0,00667053	0,15338694	0,045226702
Error estándar	0,0865%	0,1317%	0,0201%	0,1926%	4,4279%	1,3056%

Nota: Error calculado de los instrumentos. Elaborado por: Edwin Carua

Según la Tabla 29 se puede apreciar que existen errores estándar muy pequeños en las mediciones de los instrumentos especialmente en las medidas de presión, presión diferencial, pH, oxígeno disuelto y flujo, esto se debe a que las variables de medición son estables y no existe algún elemento externo que pueda modificarlas.

Con respecto a la medición de cloro libre que tiene un error de 4,42%, se debe en primer lugar que al momento de encender el equipo este requiere de un tiempo para estabilizar la medición, otro factor muy importante que influye es que la cantidad de

cloro se evapora al transcurrir un tiempo ocasionado disminución del mismo en la muestra.

Con las medidas tomadas con cada instrumento se puede además conocer la reproducibilidad de cada equipo, que se refiere a la capacidad de los instrumentos a dar resultados similares cuando se realizan medidas diferentes de la misma muestra con las mismas condiciones ambientales, cuando son utilizadas por varios operadores. Para lo cual se debe calcular el coeficiente de variación (CV) de las medidas registradas por cada instrumento, de esta manera, se puede especificar el grado de reproducibilidad, si los valores del CV son menores al 5% se considera que le instrumento tienen un alto grado de reproducibilidad.

El cálculo de coeficiente de variación (CV) se utiliza la siguiente fórmula:

(Ecuación 10.)
$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}$$

Se procede a realizar el cálculo de CV para los datos adquiridos por los instrumentos del banco de pruebas, estos se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30.
Cálculo del coeficiente de variación

Parámetro	Presión	Presión diferencial	pH	Oxígeno disuelto	Cloro libre	Flujo
Unidad	PSI	PSI	pH	ppm	ppm	GPM
Medida 1	3,56149897	0,154183596	7,52611446	3,34838009	2,77199054	18,7
Medida 2	3,56511578	0,159410149	7,52763319	3,35344362	2,61212373	18,6
Medida 3	3,56703126	0,154706248	7,52763319	3,35344362	2,51374435	18,6
Medida 4	3,56149897	0,156204676	7,52712631	3,36002588	2,43634248	18,6
Medida 5	3,56788167	0,153591467	7,52611446	3,35850716	2,39583325	18,6
Medida 5	3,56064807	0,158503894	7,52560806	3,36154556	2,35821748	18,6
Medida 7	3,56788169	0,146343738	7,52712631	3,36559582	2,3372395	18,6
Medida 8	3,56149897	0,150978124	7,52611446	3,36610222	2,31698489	18,6
Medida 9	3,56511578	0,152615622	7,52712631	3,36407709	2,30613422	18,7
Medida 10	3,56703125	0,144253126	7,52611446	3,36812782	2,29528356	18,7
Medida 11	3,56149897	0,152615622	7,52712631	3,3676219	2,28081608	18,6
Medida 12	3,567881685	0,157389054	7,526114464	3,368634224	2,275752306	18,6
Media aritmética	3,56454859	0,15339961	7,52666267	3,36129208	2,40837187	18,625
Desviación estándar	0,00299566	0,004561294	0,00069795	0,00667053	0,15338694	0,0452267
CV	0,0840%	2,9735%	0,0093%	0,1985%	6,3689%	0,2428%

Nota: CV de los registros de medición. Elaborado por: Edwin Carua

Se observa en la Tabla 30 que los valores del coeficiente de variación menores al 5% como el PIT, PDIT, flujómetro, analizador de pH y oxígeno disuelto reflejan una buena reproducibilidad, por otro, lado el analizador de cloro tiene un CV=6,3689%, como se dijo anteriormente esto es ocasionado debido a que la muestra de cloro va perdiendo su valor de concentración puesto que al transcurrir el tiempo este se va evaporando.

Hay que recalcar que de acuerdo con los resultados obtenidos, no existe inconveniente con los instrumentos por estas variaciones ya que no afecta en su funcionamiento ni confiabilidad.

CONCLUSIONES

- El banco de pruebas permite maniobrar y comprobar el funcionamiento de diferentes instrumentos de medición tales como transmisores de presión, presión diferencial, analizadores de cloro, pH y oxígeno disuelto sin importar la marca o fabricante ya que en el diseño se contempló medidas y tipo de conexión estándar tanto eléctricas como hidráulicas, cumpliendo de esta manera las necesidades y requerimientos señalados por la empresa AWT S.A.
- El diseño y construcción tanto de la estructura metálica, la distribución de instrumentos de medición y ruteo de tubería hidráulica permite contar con un banco completamente manipulable y de fácil uso para el operador al momento de realizar las pruebas, puesto que se adapta rápidamente a los diámetros de tubería requeridos por los instrumentos y por las bombas que se desean comprobar.
- El banco de pruebas está diseñado para comprobar el funcionamiento de una bomba o motor que no sobrepase los 7.5 [HP] de potencia, debido a que las protecciones calculadas no están dimensionadas para corrientes mayores de 22 [A], lo que cumple con los requerimientos de la empresa AWT S.A.
- La opción de contar con un entorno gráfico HMI facilita monitorear las variables de los instrumentos de medición permitiendo de esta manera verificar el comportamiento de cada uno de ellos, además de registrar sus valores en un visor de curvas para tener una idea clara y concisa de cómo se comporta el instrumento y poder determinar fallas en la medición de la variable respectiva, permitiendo también el control de encendido y apagado de las bombas así como verificar su estado de funcionamiento, concluyendo de esta manera que el diseño y desarrollo del HMI es adecuado para el banco de pruebas.
- Las pruebas demostraron que la configuración de la base de datos creada para registrar y almacenar los valores de medición de los instrumentos es satisfactoria ya que se comprobó que el valor de cada variable se registra en

intervalos de diez minutos, esto ayuda a que se cree un registro de verificación de funcionamiento de instrumentos con los datos obtenidos, permitiendo de esta manera tener un respaldo de cada uno de ellos necesario para la empresa AWT S.A.

- De acuerdo con las pruebas realizadas con los distintos instrumentos medición y con el respectivo análisis se concluyó que el funcionamiento de cada uno es adecuado y no presentan anomalías en su medición debido a errores menores al 1%, además con un coeficiente de variación menor a 5% se determina que estos instrumentos tienen una buena reproducibilidad.
- De acuerdo con los parámetros y requisitos establecidos por la norma eléctrica NEC (National Electrical Code) y al respectivo análisis de corriente y voltaje que consume cada elemento, se determinó que el dimensionamiento de protecciones eléctricas es el adecuado, permitiendo de esta manera proteger todos los equipos eléctricos utilizados en el proyecto contra cortocircuitos y sobe-voltaje que afectaría la vida útil de cada uno de ellos.
- El banco de pruebas permite comprobar la calibración y funcionamiento de los instrumentos de medición, mas no está en la capacidad de calibrarlos, debido a que tanto la empresa como el banco de pruebas, necesitan cumplir ciertas normas, parámetros y permisos que actualmente la empresa AWT S.A no cuenta con estos requisitos.
- Mediante las pruebas de funcionamiento y resultados generales obtenidos se concluye que el banco de pruebas de instrumentos de medición cumple con los parámetros técnicos y de operación requeridos parte de la empresa AWT S.A., ratificando de esta manera que el proyecto realizado es útil y eficiente.

RECOMENDACIONES

- Para realizar la verificación de funcionamiento de los analizadores de pH, oxígeno disuelto y cloro libre, con instrumentos de la marca Hach se recomienda realizar estas pruebas una vez que transcurra un tiempo de quince minutos luego de haber encendido el instrumento, ya que estos necesitan un tiempo de estabilización.
- Antes de iniciar las pruebas de funcionamiento verificar que la válvula de bola que permite la succión de agua por parte de la bomba desde el tanque de almacenamiento se encuentre abierta para que esta no sufra daños al accionarse en vacío.
- Cuando se realicen las pruebas y no se conecte algún instrumento al banco de es necesario cerrar la respectiva válvula de bola para que no exista fugas de agua y no existan factores que alteren el funcionamiento de los instrumentos de medición.
- Para comprobar el funcionamiento de analizador de cloro libre de la marca Hach hay que tener cuidado en el caudal de ingreso hasta la celda de flujo donde se encuentra el sensor, debido a que si se tiene un caudal menor a 30 [l/hora] las mediciones que este realice serán erróneas y no confiables.
- Las pruebas deben durar un mínimo de dos horas ya que de esta manera se verifica el comportamiento y estabilidad del instrumento, logrando de esta manera tener datos reales que determinen el funcionamiento de los mismos.
- Los analizadores de la marca Hach cuentan con el protocolo de comunicación MODBUS, por lo cual es recomendable que estos instrumentos se comuniquen con el PLC mediante este protocolo cuando estos se implanten en los proyectos realizados por la empresa AWT S.A., puesto que de esta manera se tiene un tiempo de respuesta de medición de la variable rápido necesario dentro del proceso de tratamiento de aguas.

- Verificar que la dirección de ingreso de caudal hacia el flujómetro electromagnético se encuentre en posición correcta, ya que si está en sentido contrario no se obtendrán medidas reales de la variable, obteniendo resultados erróneos.
- Para los transmisores de presión verificar la escala de medición del equipo, puesto que si se realizan pruebas funcionamiento a una presión superior a la del valor máximo de medida puede ocasionar daños irreparables en el instrumento.

REFERENCIAS

- Ashcroft. (7 de Julio de 2007). *Ashcroft Corporation*. Recuperado el 2 de Julio de 2015, de Ashcroft Corporation Web site: <http://www.ashcroft.com>
- Ashcroft. (s.f.). *Ashcroft Corporation*. Recuperado el 2 de Julio de 2015, de Ashcroft Corporation Web site: <http://www.ashcroft.com>
- Cabildo Miranda, M., Claramunt Vallespí, R., Cornago Ramírez, M., Escolástico León, C., Esteban Santos, S., Farrán Morales, M., . . . Sanz del Catillo, D. (2010). *Resiclado y tratamiento de residuos*. Madrid: UNED.
- Calvo, M. d. (s.f.). *CosemarOzono*. Recuperado el 01 de 07 de 2015, de CosemarOzono Web site: <http://www.cosemarozono.es>
- CIDTA. (2015). *CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL AGUA*. Recuperado el 01 de 07 de 2015, de CIDTA Web site: <http://cidta.usal.es>
- Delta . (s.f.). *Delta Electronics*. Recuperado el 17 de Octubre de 2015, de Delta Electronics Web site: <http://www.deltaww.com>
- Earley, M., Sargent, J., Coache, C., & Roux, R. (2011). *National Electrical Code*. Quincy, Massachusetts.
- Guijarro Millán, R., Cantero Calero, B., Muñoz Rodríguez, M., & Cantero Calero, F. (2004). *Ayudantes Técnicos Medio Ambiente de la Junta Andalucía*. España: MAD, S.L.
- Hach. (2012). *Hach Lange*. Recuperado el 6 de Julio de 2015, de Hach Lange Web site: <http://www.hach.com>
- Hach. (2013). *Hach Lange*. Recuperado el 6 de Julio de 2015, de Hach Lange web site: <http://www.hach.com>
- Hach Lange. (s.f.). *Hach Lange*. Obtenido de Hach Lange Web site: <http://www.hach.com>
- Leo. (s.f.). *Leo Grup*. Obtenido de Leo Grup Web site: <http://www.leogroup.cn>

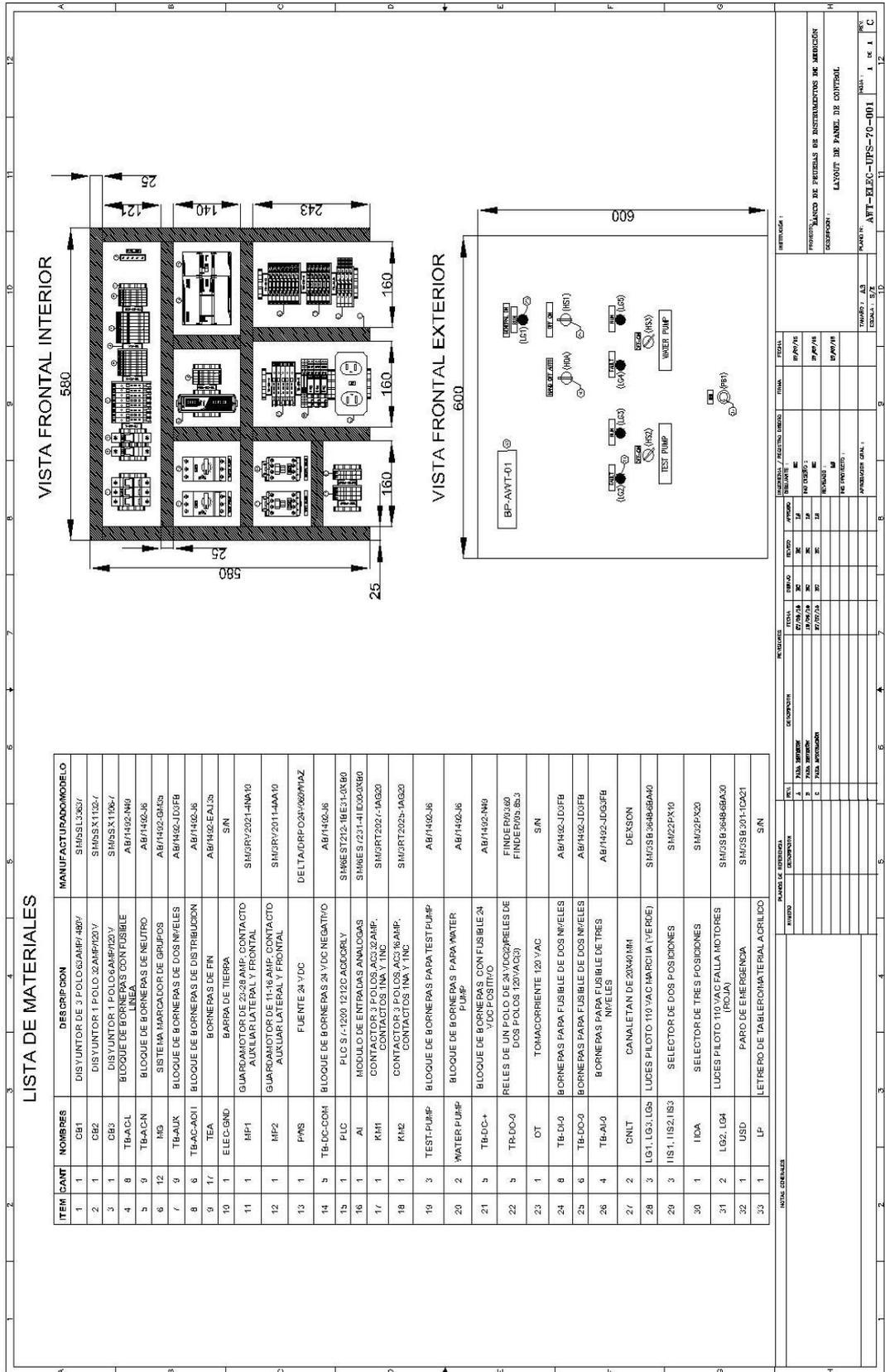
Seametrics. (13 de Noviembre de 2013). *Seametrics Incorporated*. Recuperado el 4 de Julio de 2015, de Seametrics Incorporated Web site: <http://www.seametrics.com>

Seametrics. (s.f). *Seametrics Incorporated*. Obtenido de Seametrics Incorporated Web site: <http://www.seametrics.com>

Siemens. (s.f). *Siemens Industry*. Obtenido de Siemens Industry Web site: <http://www.siemens.com/>

Unicon. (s.f). *Industrias Unicon*. Recuperado el 5 de Septiembre de 2015, de Industrias Unicon Web site: <http://www.unicon.com.ve>

Anexo 2. Layout del tablero eléctrico de control

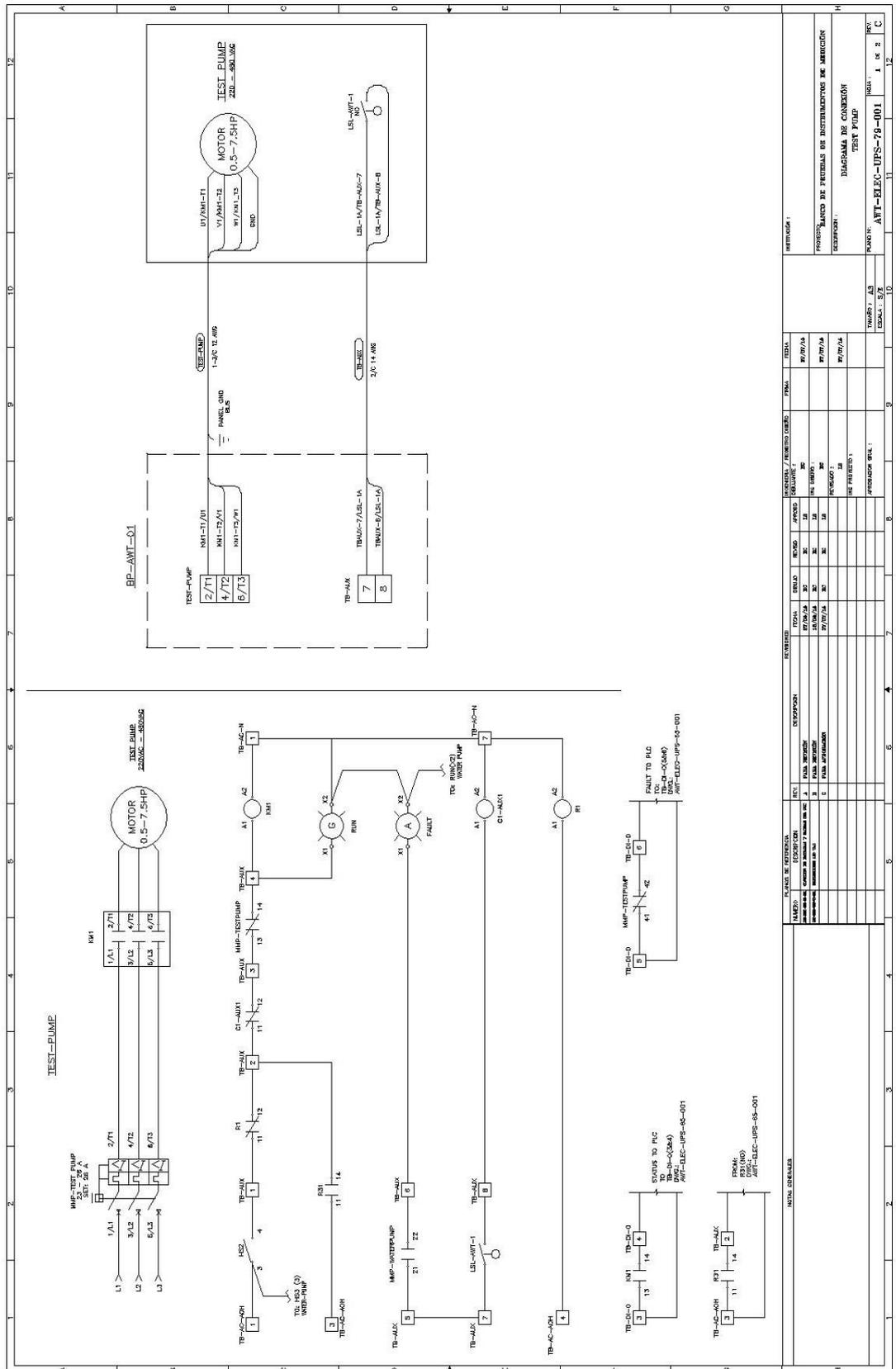


LISTA DE MATERIALES

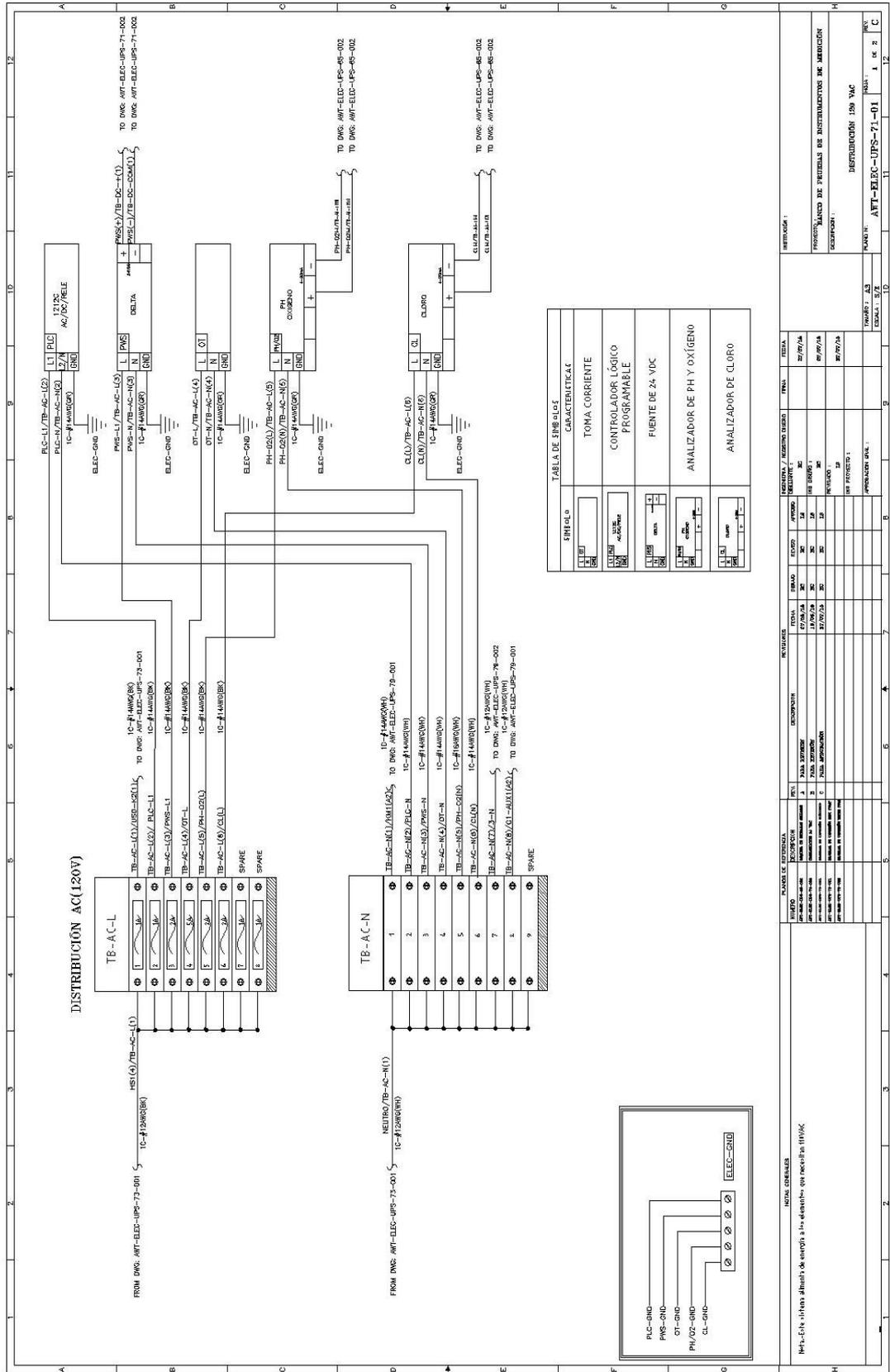
ITEM	CANT	NOMBRES	DESCRIPCION	MANUFACTURADO/MODELO
1	1	CB1	DISYUNTOR DE 3 POLOS/40AMP/480V	SIMNS1325V
2	1	CB2	DISYUNTOR 1 POLO 20AMP/277V	SIMNSX1152-V
3	1	CB3	DISYUNTOR 1 POLO/40AMP/277V	SIMNSX1195-V
4	8	TBACL	BLOQUE DE BORNEPAS CONFUSIBLE	AB/1492-M40
5	9	TBACN	BLOQUE DE BORNEPAS DE NEUTRO	AB/1492-J6
6	12	M8	SISTEMA MARCADOR DE GRUPOS	AB/1492-3R45
7	9	TB-AUK	BLOQUE DE BORNEPAS DE DOS NIVELES	AB/1492-JD0FB
8	6	TB-AC-A011	BLOQUE DE BORNEPAS DE DISTRIBUCION	AB/1492-J6
9	17	TEA	BORNEPAS DE FN	AB/1492-EA13n
10	1	ELEC-SND	BARRA DE TIERRA	SIN
11	1	MP1	GUARDAMOTOR DE 25-28 AMP. CONTACTO AUXILIAR LATERAL Y FRONTAL	SIMGRV2021-1HA10
12	1	MP2	GUARDAMOTOR DE 11-16 AMP. CONTACTO AUXILIAR LATERAL Y FRONTAL	SIMGRV2011-1HA10
13	1	PMS	FUENTE 24VDC	DELTA/DURPO24V200WTAZ
14	3	TB-DC-C0H1	BLOQUE DE BORNEPAS 24VDC NEGATIVO	AB/1492-J6
15	1	PLC	PLC S7-1200-1212C-AD000R1	SIMNS ST212-1BE31-0X50
16	1	AI	MODULO DE ENTRADAS ANALOGAS	SIMNS 231-1H1E000X060
17	1	RM1	CONTACTOR 3 POLOS ACC.20AMP.	SIM3RT202 (-)A020
18	1	RM2	CONTACTOS 2 POLOS ACC.16 AMP. CONTACTOS 1NA Y 1NC	SIM3RT202+ A020
19	3	TEST-PUMP	BLOQUE DE BORNEPAS PARA TEST PUMP	AB/1492-J6
20	2	WATER PUMP	BLOQUE DE BORNEPAS PARA WATER PUMP	AB/1492-J6
21	5	TB-DC+	BLOQUE DE BORNEPAS CONFUSIBLE 24VDC POSITIVO	AB/1492-M40
22	5	TR-DC-0	RELES DE UN POLO DE 24VDC/200RELES DE DOS POLOS 120V/AC(0)	FINDEP00560 FINDEP0565J
23	1	OT	TOMACORRIENTE 120VAC	SIN
24	8	TB-DI-0	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE DOS NIVELES	AB/1492-JD0FB
25	6	TB-DC-0	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE DOS NIVELES	AB/1492-JD0FB
26	4	TB-AI-0	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE TRES NIVELES	AB/1492-JD03FB
27	2	CNLT	CANALETAN DE 20X40MM	DEXSON
28	3	LG1, LG3, LG5	LUCE PILOTO 110VAC/MARCA (VERDE)	SIM5B3648-8BA0
29	3	HS1, HS2, HS3	SELECTOR DE DOS POSICIONES	SIM22P-X10
30	1	IDA	SELECTOR DE TRES POSICIONES	SIM22P-X20
31	2	LG2, LG4	LUCE PILOTO 110VAC/FALLA MOTORES (ROJO)	SIM5B3648-8BA30
32	1	USD	PARO DE EMERGENCIA	SIM5B301H-C0A1
33	1	LP	LETRENO DE TABLERO/WATER ACRILICO	SIN

MATERIAL		DESCRIPCION		CANTIDAD		VALOR UNITARIO		VALOR TOTAL	
ITEM	CANT	DESCRIPCION	ITEM	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	DESCRIPCION	ITEM	CANT
1	1	DISYUNTOR DE 3 POLOS/40AMP/480V	1	1	1000	1000	DISYUNTOR DE 3 POLOS/40AMP/480V	1	1
2	1	DISYUNTOR 1 POLO 20AMP/277V	2	1	500	500	DISYUNTOR 1 POLO 20AMP/277V	2	1
3	1	DISYUNTOR 1 POLO/40AMP/277V	3	1	600	600	DISYUNTOR 1 POLO/40AMP/277V	3	1
4	8	BLOQUE DE BORNEPAS CONFUSIBLE	4	8	100	800	BLOQUE DE BORNEPAS CONFUSIBLE	4	8
5	9	BLOQUE DE BORNEPAS DE NEUTRO	5	9	100	900	BLOQUE DE BORNEPAS DE NEUTRO	5	9
6	12	SISTEMA MARCADOR DE GRUPOS	6	12	100	1200	SISTEMA MARCADOR DE GRUPOS	6	12
7	9	BLOQUE DE BORNEPAS DE DOS NIVELES	7	9	100	900	BLOQUE DE BORNEPAS DE DOS NIVELES	7	9
8	6	BLOQUE DE BORNEPAS DE DISTRIBUCION	8	6	100	600	BLOQUE DE BORNEPAS DE DISTRIBUCION	8	6
9	17	BORNEPAS DE FN	9	17	100	1700	BORNEPAS DE FN	9	17
10	1	BARRA DE TIERRA	10	1	100	100	BARRA DE TIERRA	10	1
11	1	GUARDAMOTOR DE 25-28 AMP. CONTACTO AUXILIAR LATERAL Y FRONTAL	11	1	1000	1000	GUARDAMOTOR DE 25-28 AMP. CONTACTO AUXILIAR LATERAL Y FRONTAL	11	1
12	1	GUARDAMOTOR DE 11-16 AMP. CONTACTO AUXILIAR LATERAL Y FRONTAL	12	1	1000	1000	GUARDAMOTOR DE 11-16 AMP. CONTACTO AUXILIAR LATERAL Y FRONTAL	12	1
13	1	FUENTE 24VDC	13	1	1000	1000	FUENTE 24VDC	13	1
14	3	BLOQUE DE BORNEPAS 24VDC NEGATIVO	14	3	100	300	BLOQUE DE BORNEPAS 24VDC NEGATIVO	14	3
15	1	PLC S7-1200-1212C-AD000R1	15	1	1000	1000	PLC S7-1200-1212C-AD000R1	15	1
16	1	MODULO DE ENTRADAS ANALOGAS	16	1	1000	1000	MODULO DE ENTRADAS ANALOGAS	16	1
17	1	CONTACTOR 3 POLOS ACC.20AMP.	17	1	1000	1000	CONTACTOR 3 POLOS ACC.20AMP.	17	1
18	1	CONTACTOS 2 POLOS ACC.16 AMP. CONTACTOS 1NA Y 1NC	18	1	1000	1000	CONTACTOS 2 POLOS ACC.16 AMP. CONTACTOS 1NA Y 1NC	18	1
19	3	BLOQUE DE BORNEPAS PARA TEST PUMP	19	3	100	300	BLOQUE DE BORNEPAS PARA TEST PUMP	19	3
20	2	BLOQUE DE BORNEPAS PARA WATER PUMP	20	2	100	200	BLOQUE DE BORNEPAS PARA WATER PUMP	20	2
21	5	BLOQUE DE BORNEPAS CONFUSIBLE 24VDC POSITIVO	21	5	100	500	BLOQUE DE BORNEPAS CONFUSIBLE 24VDC POSITIVO	21	5
22	5	RELES DE UN POLO DE 24VDC/200RELES DE DOS POLOS 120V/AC(0)	22	5	100	500	RELES DE UN POLO DE 24VDC/200RELES DE DOS POLOS 120V/AC(0)	22	5
23	1	TOMACORRIENTE 120VAC	23	1	100	100	TOMACORRIENTE 120VAC	23	1
24	8	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE DOS NIVELES	24	8	100	800	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE DOS NIVELES	24	8
25	6	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE DOS NIVELES	25	6	100	600	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE DOS NIVELES	25	6
26	4	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE TRES NIVELES	26	4	100	400	BORNEPAS PARA FUSIBLE DE TRES NIVELES	26	4
27	2	CANALETAN DE 20X40MM	27	2	100	200	CANALETAN DE 20X40MM	27	2
28	3	LUCE PILOTO 110VAC/MARCA (VERDE)	28	3	100	300	LUCE PILOTO 110VAC/MARCA (VERDE)	28	3
29	3	SELECTOR DE DOS POSICIONES	29	3	100	300	SELECTOR DE DOS POSICIONES	29	3
30	1	SELECTOR DE TRES POSICIONES	30	1	100	100	SELECTOR DE TRES POSICIONES	30	1
31	2	LUCE PILOTO 110VAC/FALLA MOTORES (ROJO)	31	2	100	200	LUCE PILOTO 110VAC/FALLA MOTORES (ROJO)	31	2
32	1	PARO DE EMERGENCIA	32	1	1000	1000	PARO DE EMERGENCIA	32	1
33	1	LETRENO DE TABLERO/WATER ACRILICO	33	1	1000	1000	LETRENO DE TABLERO/WATER ACRILICO	33	1

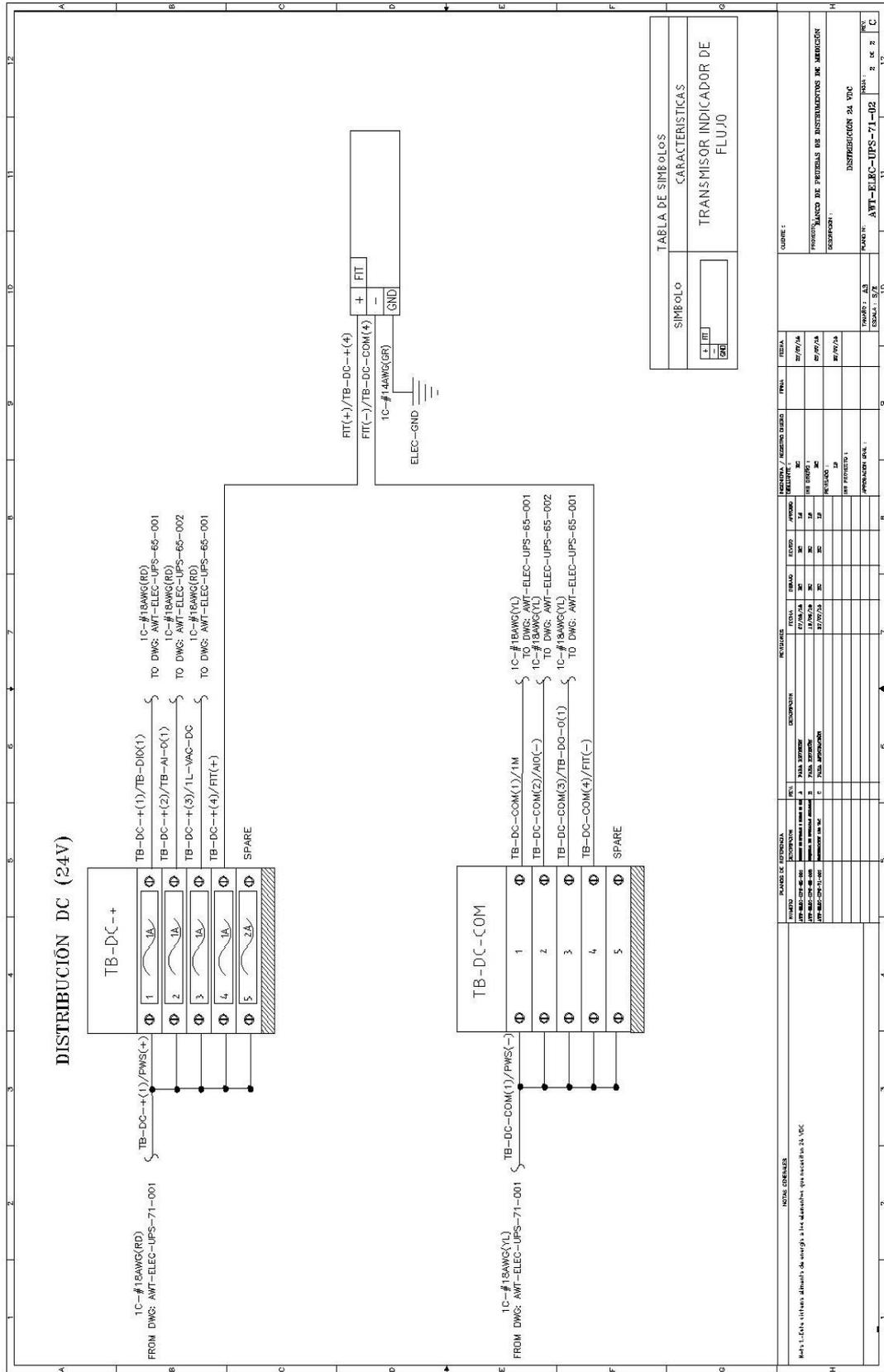
Anexo 4. Diagrama de conexión de bomba de prueba



Anexo 6. Distribución AC



Anexo 7. Distribución DC



BANCO DE PRUEBAS DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN



MANUAL DE OPERACIÓN

Febrero 2016

Este manual tiene como objetivo describir el procedimiento correcto para controlar y operar el banco de pruebas de instrumentos de medición.

DESCRIPCIÓN GENERAL

El banco de pruebas es utilizado para comprobar el funcionamiento de instrumentos de medición tales como flujómetros, transmisores de presión, transmisores de presión diferencial, analizadores de cloro, pH y oxígeno disuelto, además se puede comprobar bombas y motores eléctricos, cuenta con una interfaz gráfica que permite el monitoreo y control de las mismas, también dispone de una base de datos en la cual se registran y almacenan los valores de las variables que se miden.

DESCRIPCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

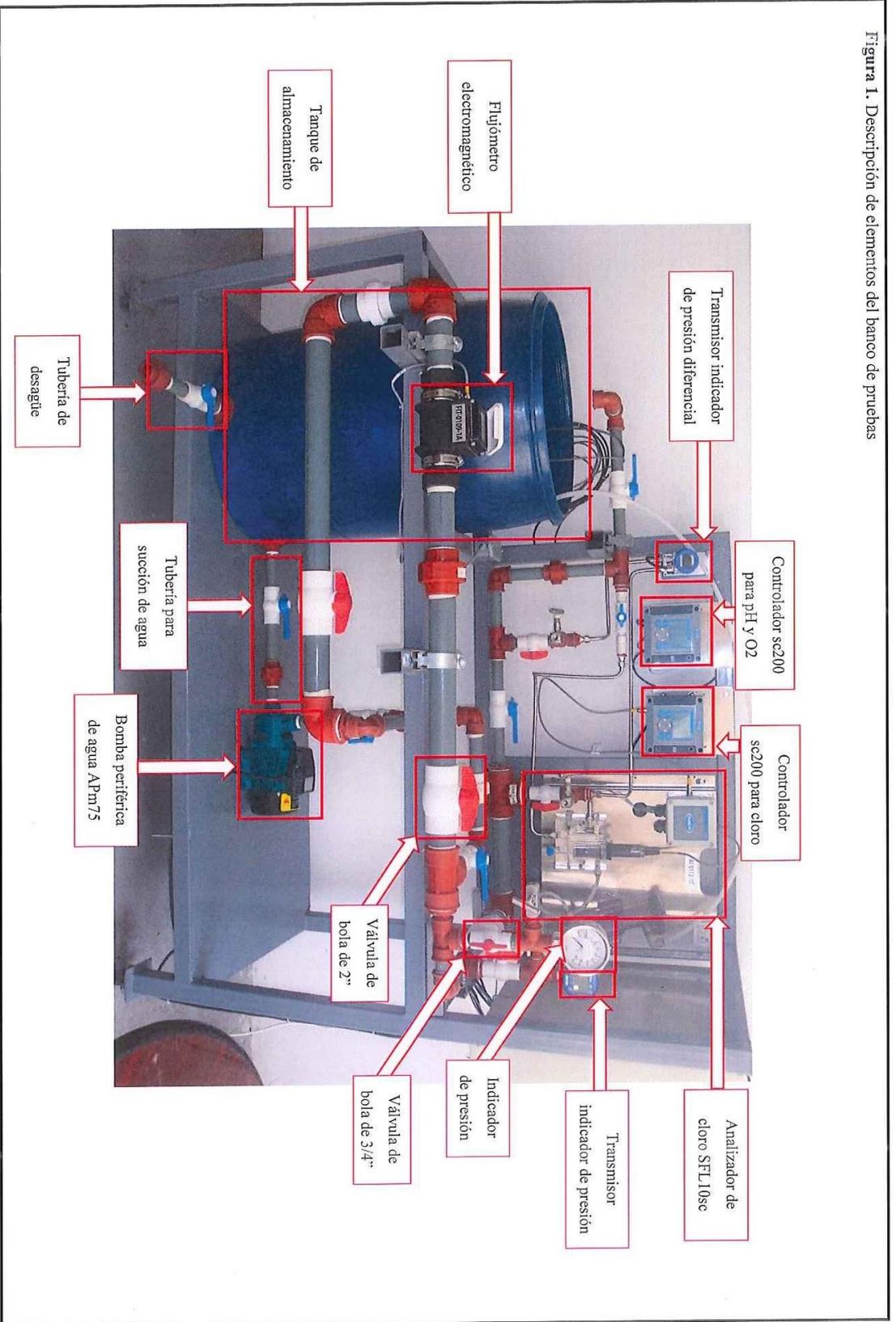
El banco de pruebas cuenta un tanque de almacenamiento que permite contar con agua para realizar las pruebas, en la parte frontal del tanque se tiene un desagüe que se conforma con una válvula de bola y una universal de diámetro de 1 pulgada, que permite la conexión hidráulica de una bomba adicional de agua que se dese comprobar, por otra parte en el costado del mismo tanque existe tubería con una válvula de bola que permite la succión de agua mediante una bomba periférica para que esta se distribuya por la línea de tubería hidráulica en la cual se instalan los instrumentos a ser probados.

Cuenta con tuberías de 2 y 1 pulgada de diámetro en la línea principal, para conexión de transmisores de presión cuenta con un arreglo hidráulico que está conformado por una válvula de bola de $\frac{3}{4}$ " y una válvula de aguja, este arreglo se utiliza también para conexión hacia las entradas del transmisor de presión diferencial.

Así mismo para ingreso de caudal hasta la celda de flujo donde se encuentra el sensor de cloro, desde la línea principal hidráulica se tiene una derivación de tubería la cual está conformada por una válvula de bola de $\frac{1}{4}$ " que permite la regulación de ingreso de flujo hasta la celda.

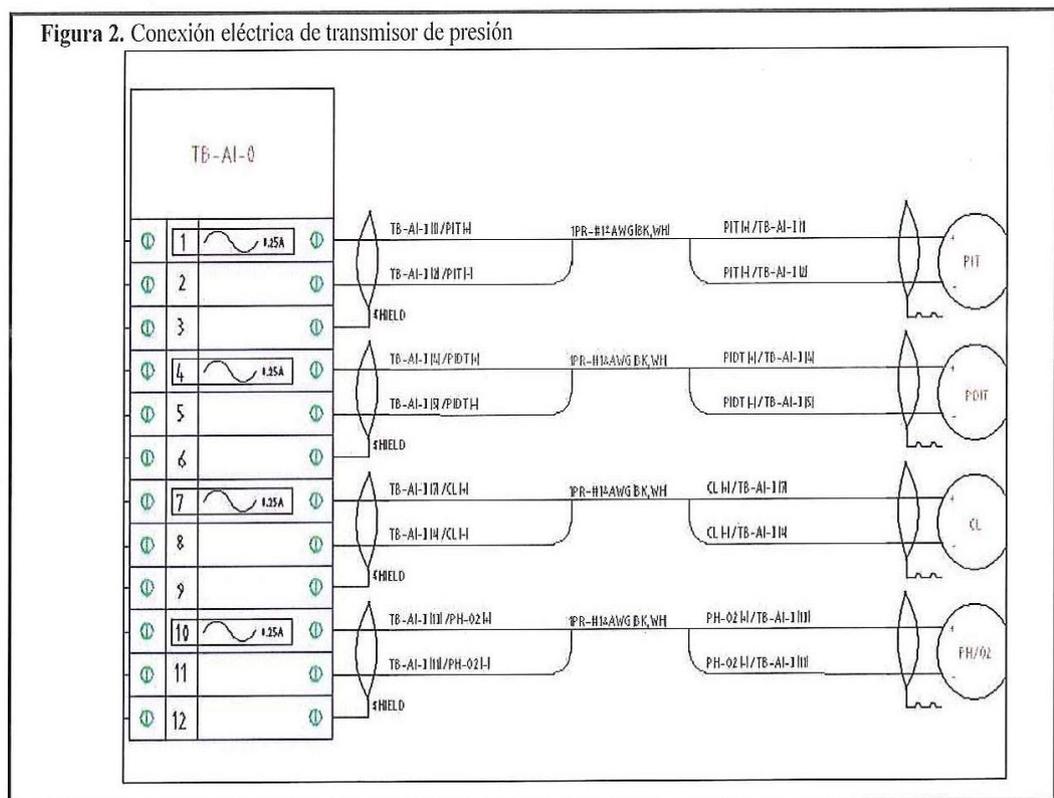
Existen válvulas de bola de 1" y 2" que permiten la distribución de agua por ciertas partes de la tubería en caso de que no se prueben todos los instrumentos al mismo tiempo, así como también se utilizan para regular la presión en la tubería. En la Figura 1 se muestra la distribución de equipos y accesorios del banco de pruebas.

Figura 1. Descripción de elementos del banco de pruebas



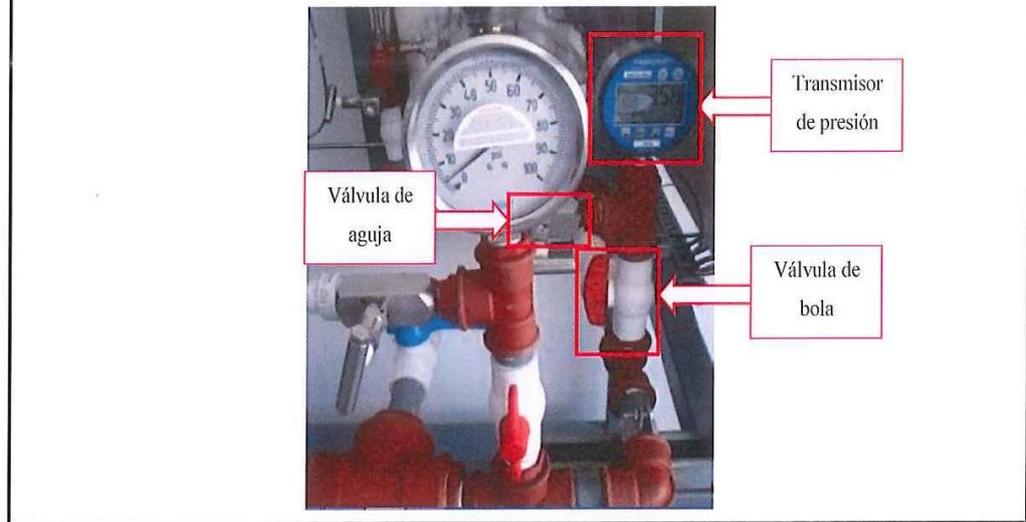
CONDICIONES DE OPERACIÓN

1. Verificar que el tanque de almacenamiento se encuentre con agua antes de realizar las pruebas.
2. Comprobar que los instrumentos de medición estén colocados en banco de pruebas como se observa en la Figura 1 anterior.
3. La señal análoga de los instrumentos de medición debe conectarse al grupo de borneras TB-AI-0 como se muestra en la Figura 2.
4. Tanto para el transmisor de presión y presión diferencial simplemente se requiere realizar esta conexión puesto que son de tipo LOOP POWER, y de esta manera se alimentan eléctricamente y al mismo tiempo envían la señal análoga de medición de la variable.



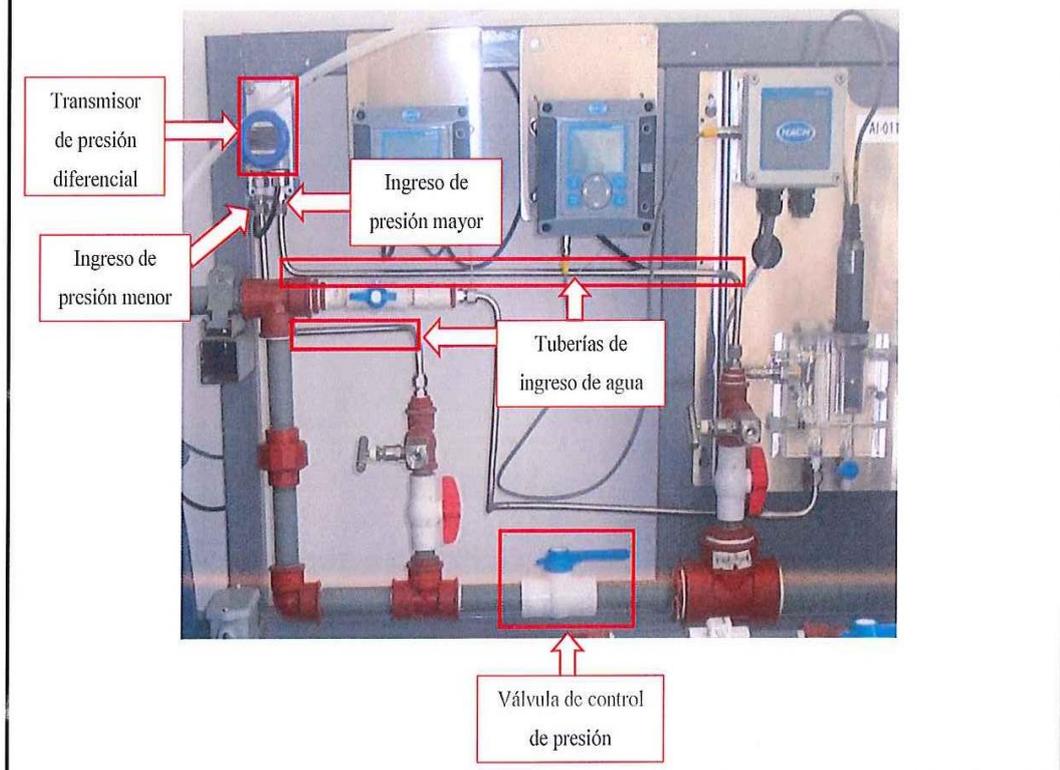
5. El transmisor de presión debe estar conectado a la tubería hidráulica principal como se muestra en la Figura 3, mediante un arreglo que se conforma de una válvula de bola, que se utiliza para aislar el instrumento de la línea hidráulica principal impidiendo el paso de agua debido a que si no se tiene montado este instrumento existirían fugas de agua en el banco de pruebas, del mismo modo se tiene una válvula tipo aguja esta sirve como purga para aliviar la presión de la tubería donde está colocado el instrumento.

Figura 3. Conexión del transmisor de presión

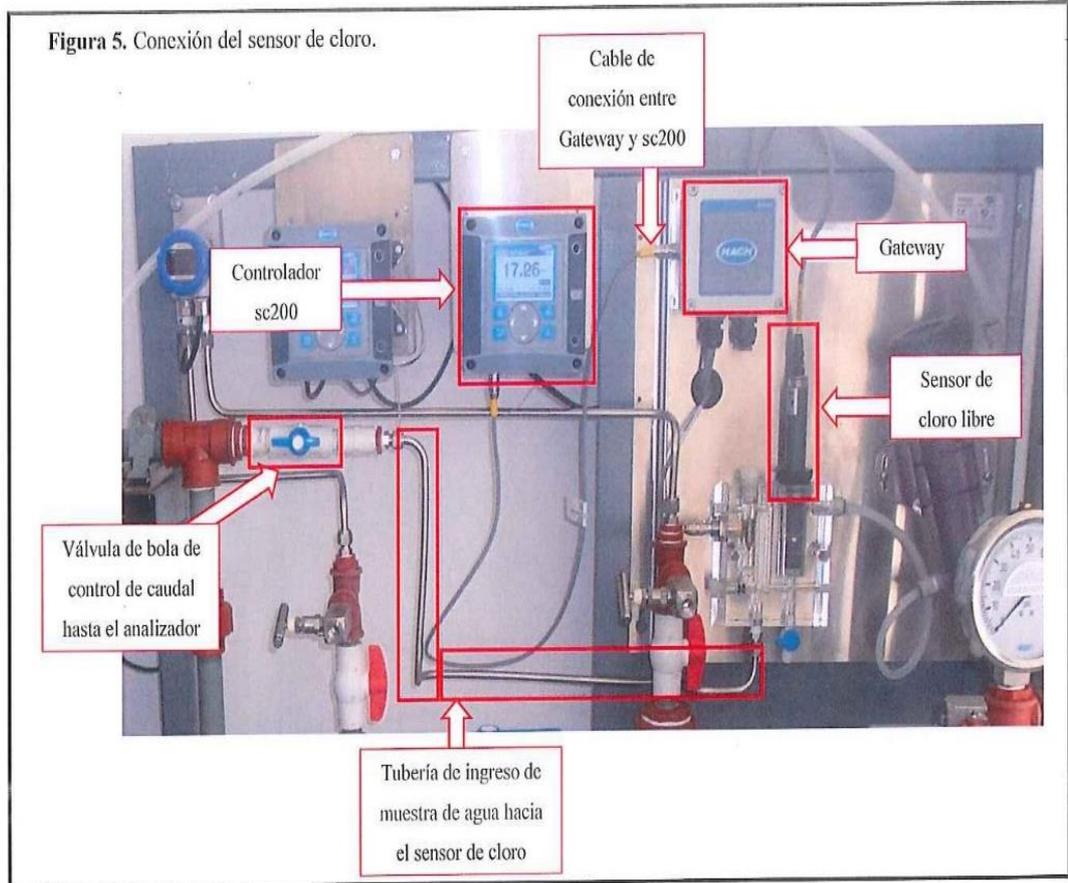


6. El transmisor de presión diferencial debe estar conectado como se muestra en la Figura 4 donde se ha considerado el diseño en el cual para medir la mayor presión se realiza en una tubería de 2" y la presión menor se realiza en una tubería de 1", al mismo tiempo se ha colocado una válvula de bola de 1" la cual al cerrarla gradualmente aumenta la presión en la tubería de 2", de esta manera se controla la medición de presión diferencial en el PDIT.

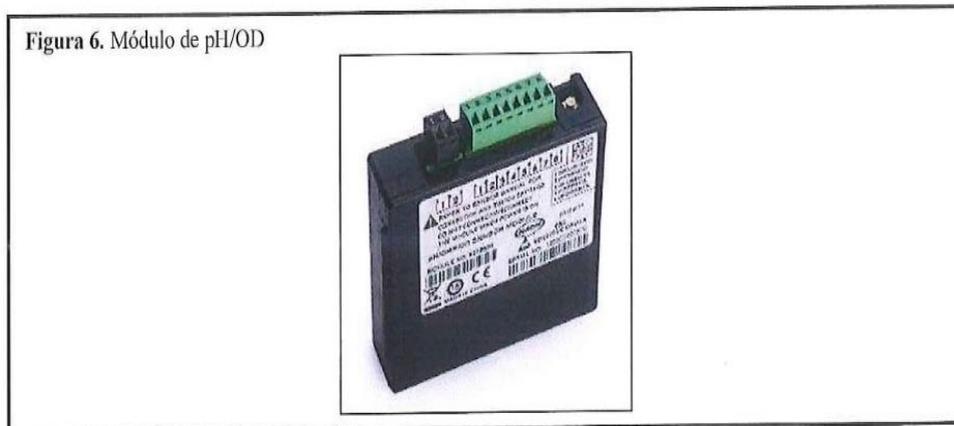
Figura 4. Conexión del transmisor de presión diferencial



7. Para el montaje y conexión del analizador y sensor de cloro, se debe conectar el sensor de cloro mediante el cable de conexión hacia el Gateway, en la Figura 5 se observa más detallada la conexión tanto hidráulica como eléctrica.



8. Conexión del sensor de pH y oxígeno disuelto, el controlador sc200 cuenta con módulos de conexión para estos dos sensores el cual se observa en la Figura 6.

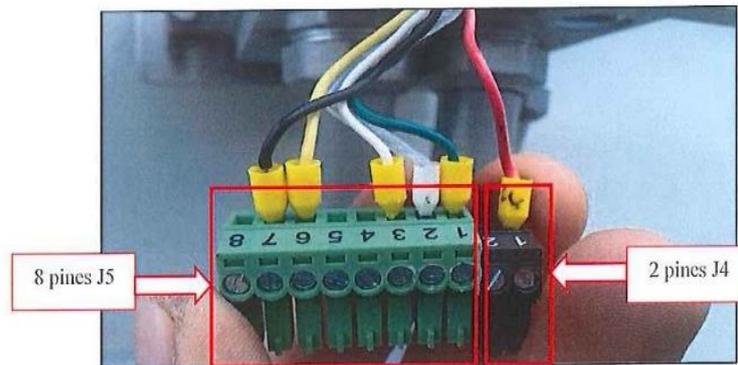


9. Para el sensor de pH se tiene que conectar los cables al módulo como se indica en la Tabla 1 de cableado del sensor y como se muestra en la Figura 7.

Tabla 1. Cableado del sensor de pH

Terminal	Nº de Pin	Descripción	Sensor Diferencial
8 pines (J5)	1	Referencia	Verde
	2	Blindaje interno	Transparente
	3	Suministro V	Blanco
	4	-----	-----
	5	-----	-----
	6	Temp +	Amarillo
	7	Temp/ Circuito Bajo	Negro
	8	-----	-----
2 pines (J4)	1	Activo	Rojo
	2	-----	-----

Figura 7. Cableado del sensor de pH

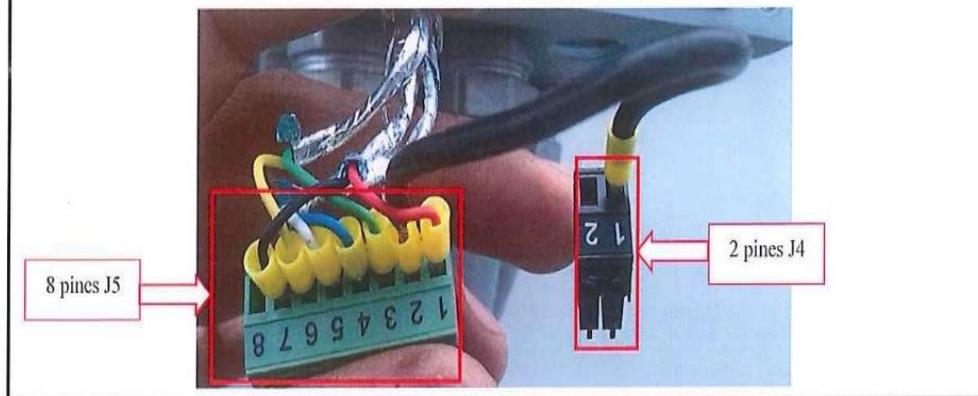


10. Para el sensor de oxígeno disuelto se debe conectar los cables al módulo de OD de acuerdo a la Tabla 2 de cableado del sensor y como se muestra en la Figura 8.

Tabla 2. Cableado del sensor de oxígeno disuelto

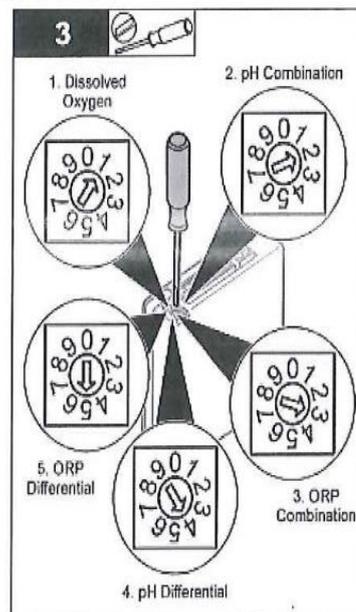
Terminal	Nº de Pin	Descripción	Sensor Diferencial
8 pines (J5)	1	Referencia	Rojo
	2	Blindaje interno	Plata y puente a pin 1 de J4
	3	Suministro V	Verde
	4	+5V	Azul
	5	-5V	Blanco
	6	Temp +	Amarillo
	7	Temp/ Circuito Bajo	Negro
	8	-----	-----
2 pines (J4)	1	Activo	Puente desde pin 2 de J5
	2	-----	-----

Figura 8. Cableado del sensor de oxígeno disuelto



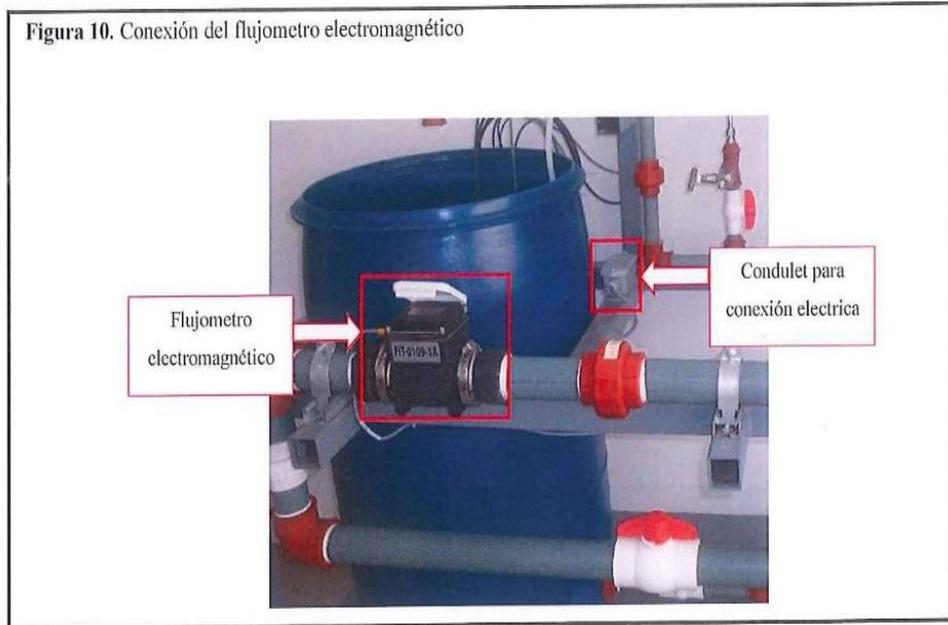
11. El módulo pH/OD ofrece distintas funciones para medir distintos parámetros por lo cual se debe configurar el módulo para la medición de pH en la opción 4 y para la medición de oxígeno disuelto en la opción 1, según se muestra en la Figura 9.

Figura 9. Configuración del módulo de pH/OD



12. Conectar el flujometro electromagnético como se muestra en la Figura 10, este debe ser montado en la tubería hidráulica de 2" y para la conexión eléctrica se cuenta con una caja conduit en la cual se encuentran pines de conexionado con el respectivo color de cable al que se debe conectar.

Figura 10. Conexión del flujometro electromagnético



PROCESO DE OPERACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

Se debe corroborar que el banco de pruebas se encuentra conectado a la alimentación eléctrica de 110 VAC, seguido verificar que el disyuntor general de tablero así como el disyuntor de la bomba de agua se encuentren en posición de ON.

El selector de encendido general HS1, se coloca en la posición ON, para energizar el tablero de control, y OFF para des-energizar el mismo también cuenta con un pulsador de paro de emergencia (USD) ubicado en la puerta frontal de dicho panel, el mismo que apagará el sistema en caso de emergencia.

Para el control de bombas presentes en el banco de pruebas y verificación de funcionamiento de instrumentos existen dos opciones:

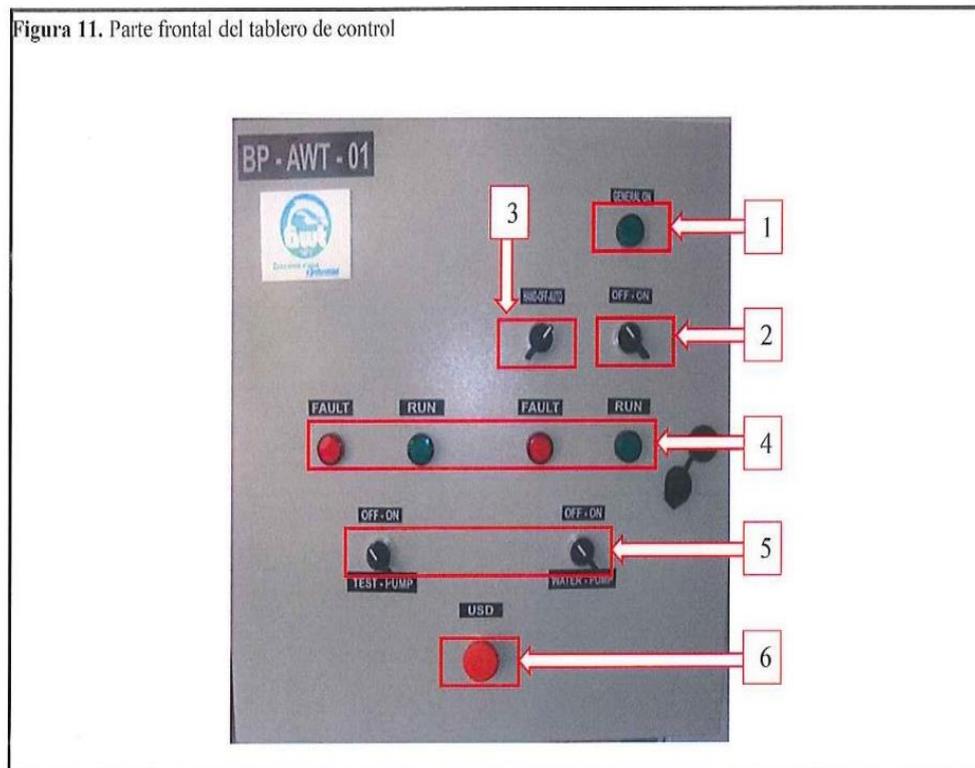
- **Control manual:** Para que el sistema funcione en modo manual se debe colocar el selector HOA en posición HAND (Manual). En este modo las bombas son controladas a voluntad del operador, con switches de encendido presentes en la tapa frontal del tablero de control.

Se dispone de protección de encendido (en modo de operación manual y automático) para las bombas si el tanque de almacenamiento tiene un nivel bajo de agua y protección térmica para los motores. Adicionalmente se cuenta con luces indicadoras de encendido y falla.

En el modo manual no se puede controlar las bombas desde el HMI, pero si se puede verificar el funcionamiento de los instrumentos conectados, es decir se pueden adquirir los valores de las variables medidas y ser mostrados en el visor de curvas además que se guardan periódicamente en la base de datos creada.

- **Control automático:** Para que el sistema funcione en este modo de operación se debe colocar el selector HOA en posición AUTO (Automático). En este modo el control de las bombas se la puede realizar mediante el HMI así como realizar las pruebas de funcionamiento y verificación de los instrumentos.

En la Figura 11 se observar la parte frontal de tablero de control, desde la cual se puede encender el modulo, controlar las bombas en modo manual, seleccionar tanto el modo manual o automático, y se tiene presente el pulsador de paro de emergencia.

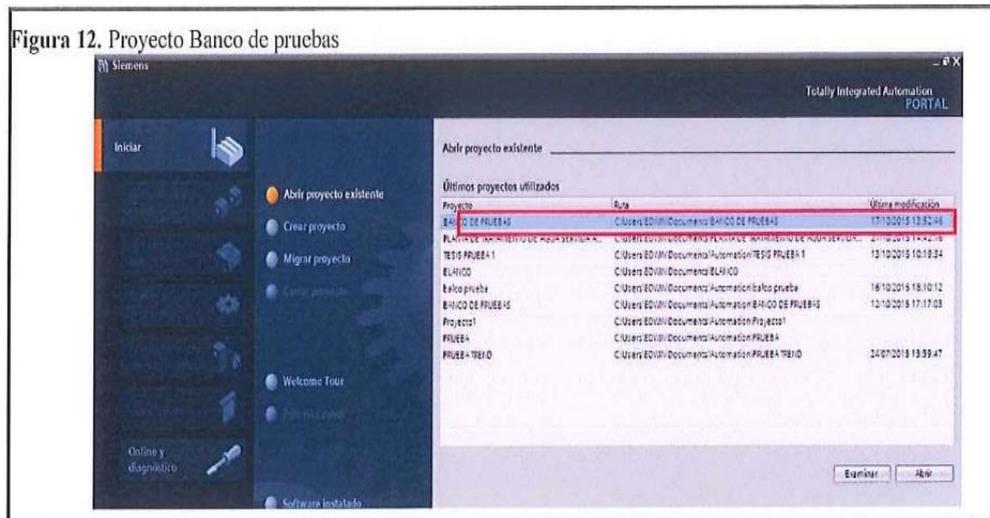


1. Luz piloto de encendido general
2. Selector HS1 de dos posiciones (OFF-ON) de encendido del tablero
3. Selector de tres posiciones (HAND-OFF-AUTO)
4. Luces piloto de encendido o falla de bombas
5. Selector de dos posiciones (OFF-ON) de encendido de bombas

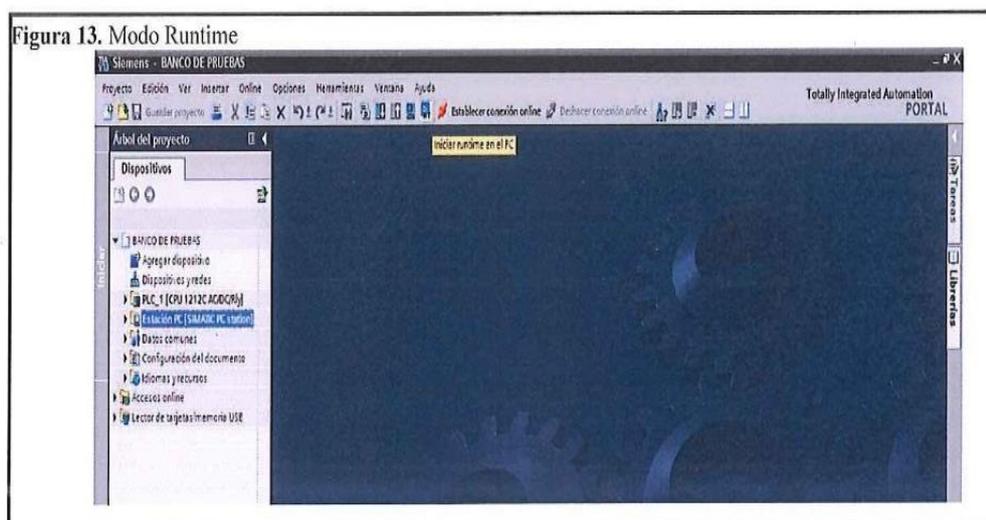
6. Pulsador tipo hongo de paro de emergencia

Para realizar el control y verificación de bombas e instrumentos de medición desde el HMI se procede de la siguiente manera:

1. Abrir el programa TIA Portal V13.
2. Abrir el proyecto BANCO DE PRUEBAS como se muestra en la Figura 12



3. Una vez que se abre el proyecto, se ingresa al modo Runtime de TIA Portal como se observa en la Figura 13.



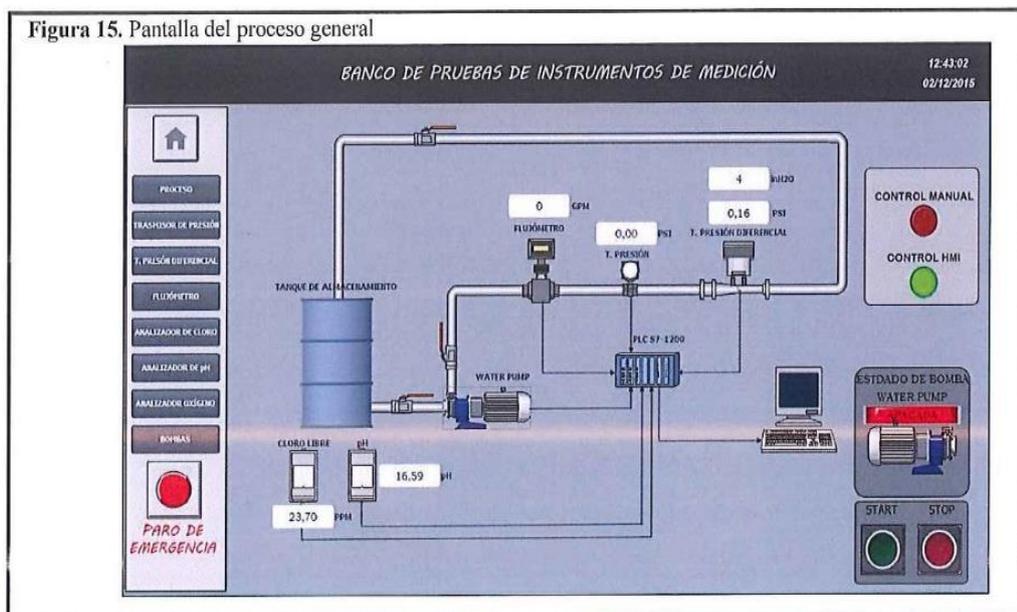
4. Después que se ejecuta el modo Runtime, se despliega una ventana de inicio del HMI mostrada en la Figura 14. Para ingresar se debe seleccionar el botón INICIAR y para salir del modo Runtime se presiona el botón SALIR.

Figura 14. Pantalla de inicio HMI

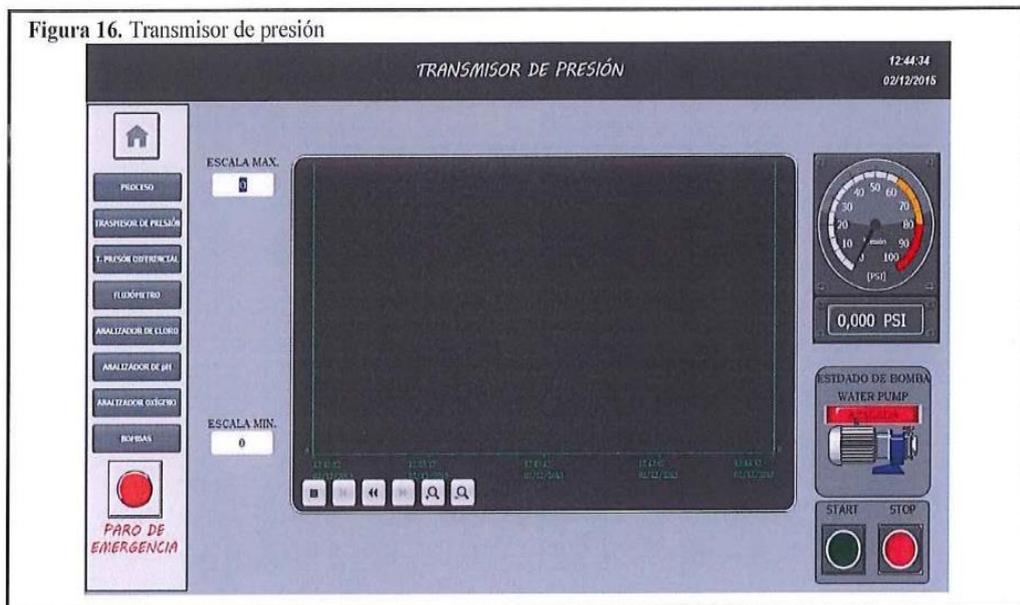


5. Si se presiona INICIAR se despliega la pantalla mostrada en la Figura 15, en la cual se observa una réplica del proceso general, en la cual se puede monitorear el valor de la variable de cada uno de los instrumentos de medición en tiempo real, se puede controlar el encendido o apagado de la bomba agua, así como verificar su estado de funcionamiento, también cuenta con botones de rápido acceso a las diferentes pantallas de estados de instrumentos. Adicional en el HMI se tiene un botón de paro de emergencia que detiene el proceso en caso de fallas o fugas de agua, únicamente cuando se encuentra en modo automático, cuando se encuentra en modo manual el paro de emergencia se lo debe presionar físicamente desde el tablero de control.

Figura 15. Pantalla del proceso general

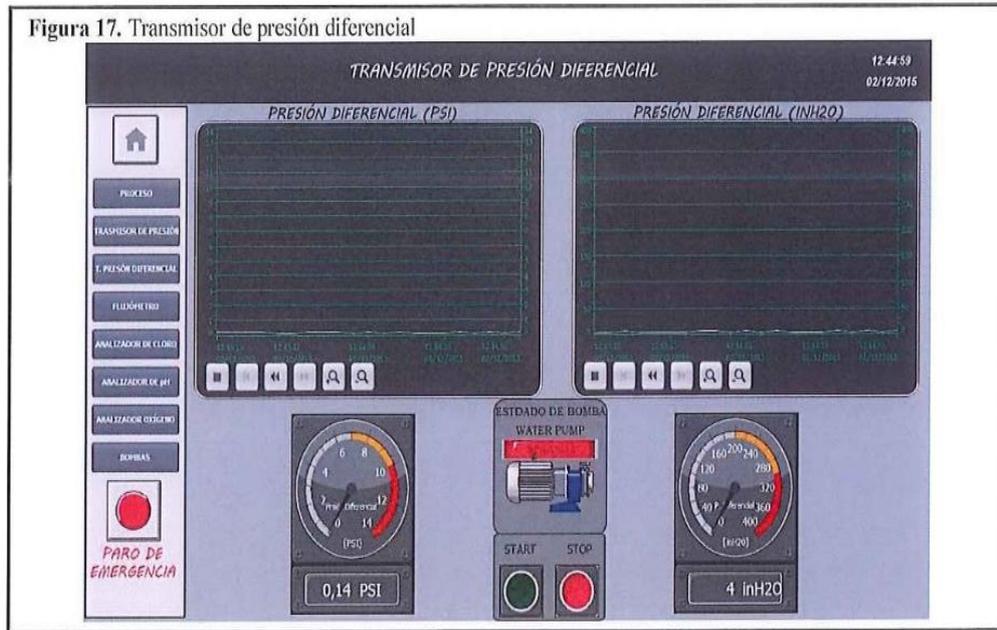


6. Se presiona el botón STAR para encender la bomba agua y STOP para apagarla, al encenderse esta permite la succión de agua desde el tanque de almacenamiento hasta que llene la tubería hidráulica.
7. Las pruebas de verificación de instrumentos se las debe realizar durante un tiempo mínimo de 2 horas, ya que de esta manera se verifica la funcionalidad del instrumento.
8. Para ingresar a las diferentes ventanas de verificación de instrumentos se presiona en el botón respectivo.
9. Presionar en el botón transmisor de presión y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 16, en la cual se observa el visor de curvas que registrara los valores adquiridos por el instrumento, cuenta con botones de encendido y apagado de la bomba de agua, en el recuadro de ESCALA MAX., se ingresa el valor máximo que puede medir el transmisor, y en ESCALA MIN., se ingresa el valor mínimo de medición, esto con el fin de que el programa del PLC pueda tener los valores de escalamiento, de esta manera se puede comprobar cualquier tipo de transmisor de presión con distinta escala de medición.



10. Presionar en el botón transmisor de presión diferencial y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 17, en este caso se tienen dos visores curvas puesto que el instrumento realiza la medición de la variable en pulgadas de agua, mediante el programa del PLC se transforma de pulgadas de agua a PSI para comprensión por parte del operario, al igual que en esta y todas las pantallas cuenta con botones de encendido y apagado de la bomba de agua.

Figura 17. Transmisor de presión diferencial



11. Presionar en el botón Flujometro y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 18, en la cual se puede comprobar el funcionamiento del flujometro electromagnético.

Figura 18. Flujometro electromagnético



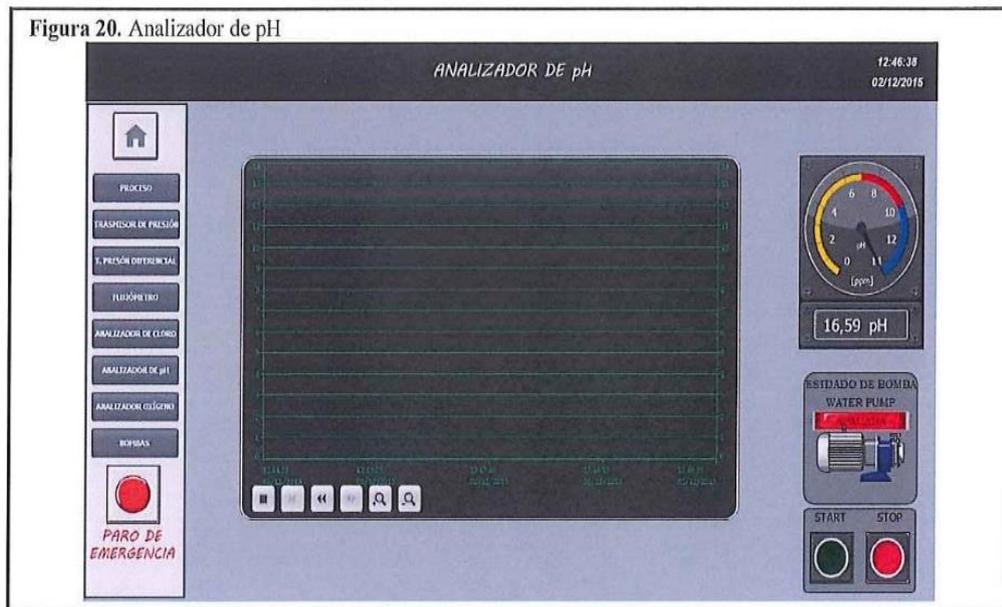
12. Presionar en el botón Analizador de cloro y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 19, en la cual se puede comprobar el funcionamiento del instrumento de medición durante un tiempo de 2 horas, este equipo cuenta con un sensor de flujo el cual al no tener el caudal adecuado las mediciones que este proporcionen no serán del todo reales.

Figura 19. Analizador de cloro



13. Presionar en el botón ANALIZADOR DE pH y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 20, en la cual se puede comprobar el funcionamiento del instrumento.

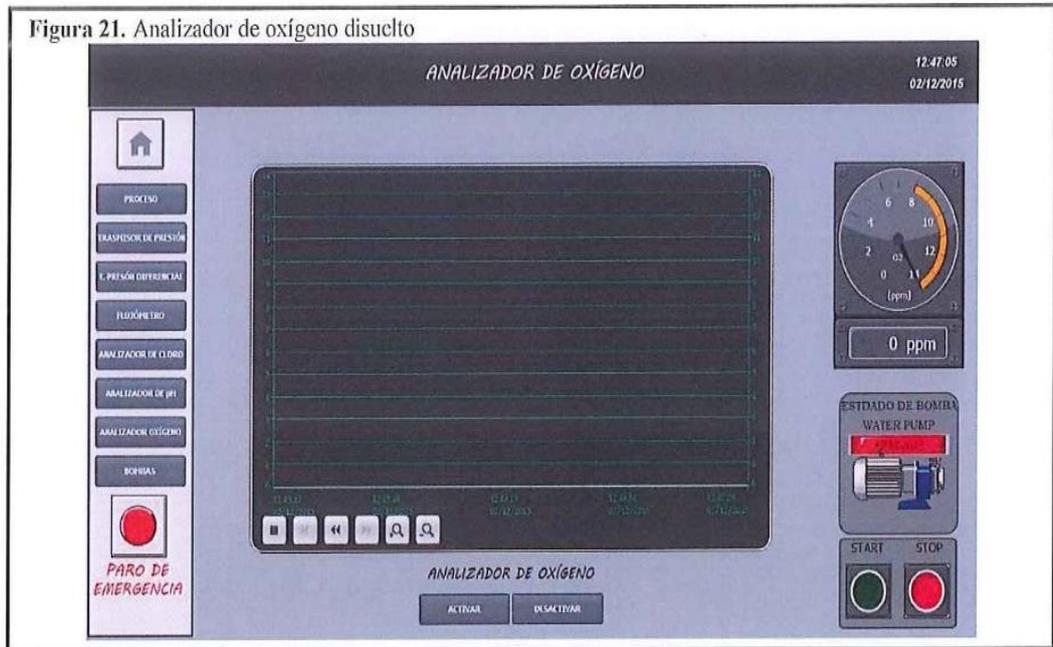
Figura 20. Analizador de pH



14. Presionar en el botón ANALIZADOR DE OXÍGENO y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 21, en esta se puede observar un botón de ACTIVAR que permite realizar la comprobación de funcionamiento del analizador de oxígeno, puesto que este se encuentra asignado a la misma entrada del analizador de pH, por lo tanto para comprobar este instrumento primero se debe desconectar la señal análoga de las borneras correspondientes y después conectar la señal de oxígeno disuelto, una vez realizado este cambio, se procede a presionar el botón ACTIVAR, y se realiza la

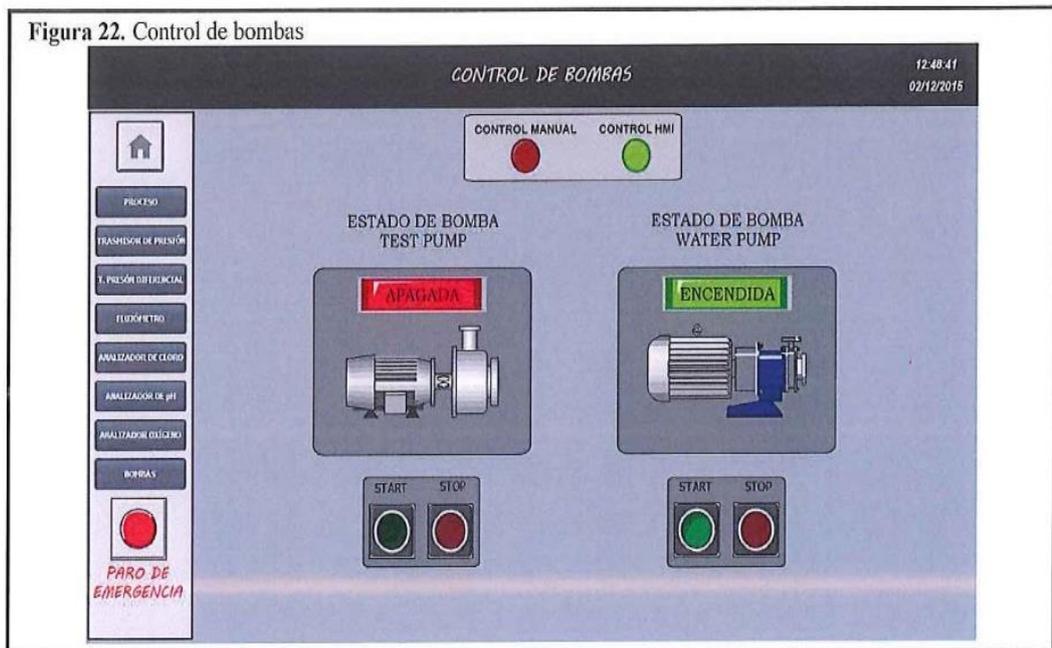
respectiva prueba, una vez terminada se presiona el botón DESACTIVAR para que así se pueda realizar otra prueba.

Figura 21. Analizador de oxígeno disuelto



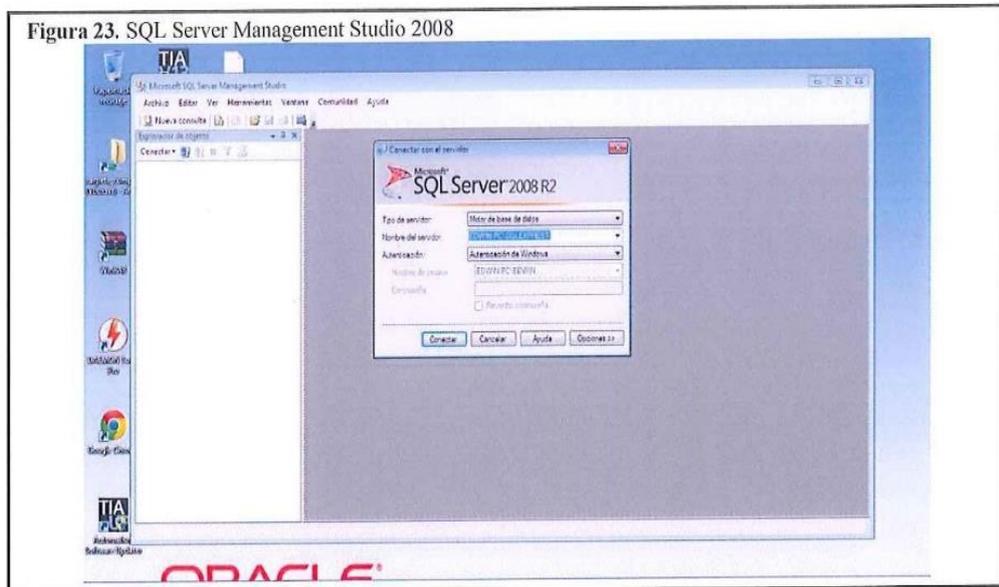
15. Presionar en el botón BOMBAS y se despliega la pantalla mostrada en la Figura 22, desde esta pantalla se puede controlar el encendido y apagado de las bombas presionando en los botones START y STOP respectivamente, adicional se puede verificar el estado de funcionamiento de las mismas por ejemplo si se encuentra ENCENDIDA, APAGADA, o FALLA.

Figura 22. Control de bombas

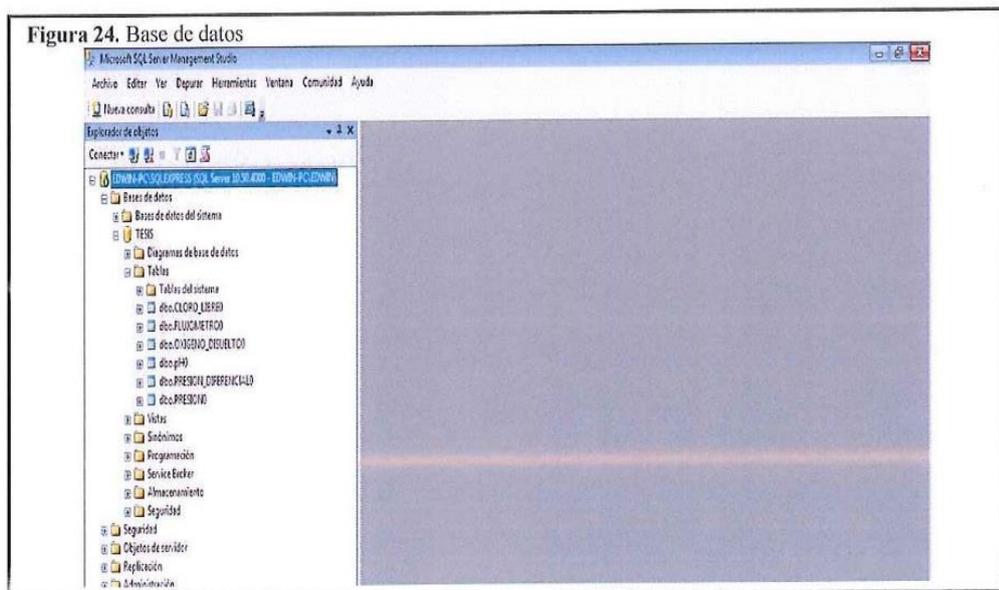


PROCESO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE INSTRUMENTOS

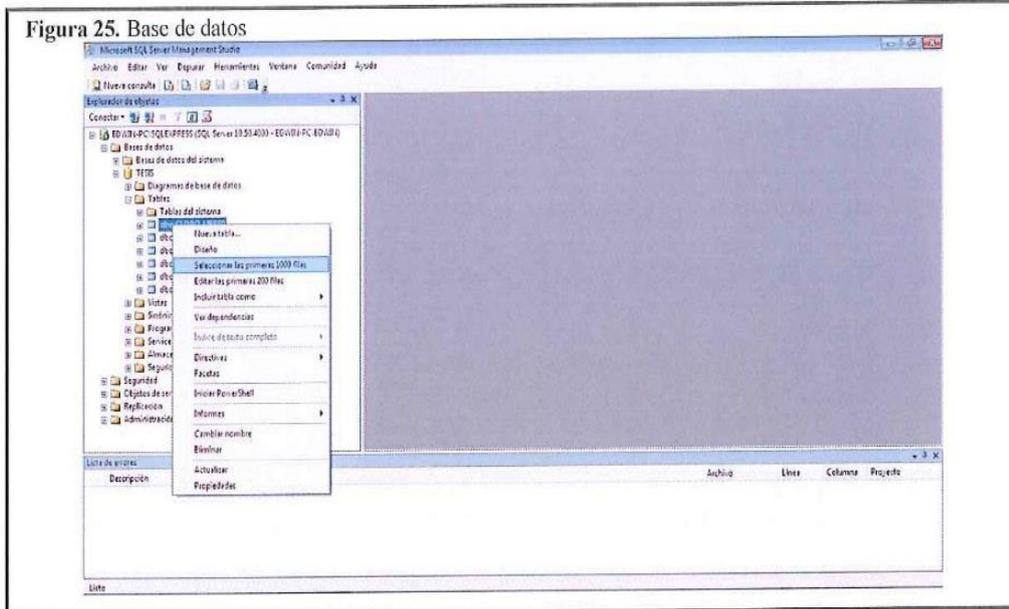
1. Abrir el programa Microsoft SQL Server Management Studio 2008
2. Presionar el botón CONECTAR, de la pantalla que se muestra en la Figura 23



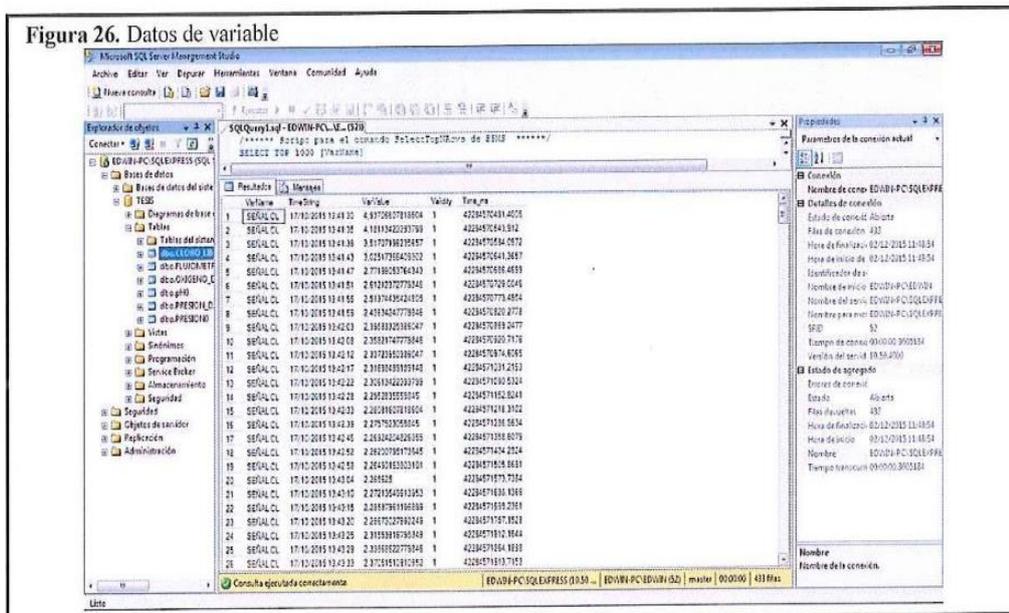
3. Una vez que se estable la base de datos se despliega la ventana que se muestra en la Figura 24, dentro del Explorador de objetos, presionar en la carpeta Base de datos, después en la carpeta TESIS, por último en la carpeta Tablas, es aquí donde se guardan los valores de las variables de los instrumentos de medición, para que posteriormente se puedan transferir a una hoja cálculo de Excel.



- Para verificar los valores de las variables primero se presiona clic derecho sobre la variable deseada, después se selecciona SELECCIONAR LAS PRIMERAS 200 FILAS, como se muestra en la figura 25.



- Una vez realizado los pasos anteriores se despliega la ventana que se muestra en la Figura 26, en la cual se puede apreciar los campos más importantes que son: el tipo de variable (VarName), fecha y hora en que se registró (TimeString), valor de la variable (VarValue).



Anexo 11. Procedimiento de pruebas de funcionamiento de instrumentos de medición

PROCEDIMIENTO PARA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

ÚLTIMA MODIFICACIÓN		
REVISIÓN	FECHA	DESCRIPCIÓN
A	20/01/2016	Pruebas de funcionamiento de Instrumentos de medición
B	11/02/2016	Correcciones de forma
C	11/02/2016	Correcciones de forma

DISTRIBUCIÓN DE DOCUMENTACIÓN		
NOMBRE	CARGO	FECHA
Edwin Carua	Supervisor eléctrico	20/01/2016

<p>Realizado por:</p> <p style="text-align: center;">EDWIN CARUA</p>	<p>Aprobado por:</p> <p style="text-align: center;">ING. JUAN JOSE TORRES</p>
--	---



**PROCEDIMIENTO:
PARA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Departamento: Ingeniería

Código: AWT-PR-01-001

Fecha: 11/02/2016

REVISIÓN: C

Página 2 de 5

TABLA DE CONTENIDO

1. OBJETIVO	3
2. ALCANCE.....	3
3. RESPONSABILIDADES	3
4. EQUIPOS.....	3
5. ACTIVIDADES.....	3
5.1. Preparación.....	3
5.2. Pruebas de verificación.....	4
5.3. Finalización de la prueba	5
6. ANEXOS	5



**PROCEDIMIENTO:
PARA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Departamento: Ingeniería

Código: AWT-PR-01-001

Fecha: 11/02/2016

REVISIÓN: C

Página 3 de 5

1. OBJETIVO

Establecer un procedimiento documentado para la ejecución de pruebas de funcionamiento de instrumentos de medición, mediante el BANCO DE PRUEBAS DE INSTRUMENTOS DE MEDICION (BP-AWT-01), en el taller de AWT S.A

2. ALCANCE

Aplica para Transmisores de Presión, Transmisores de Presión Diferencial, Analizadores de Cloro, pH, Oxígeno y Flujómetros Electromagnéticos, que se utilizan para el control y monitoreo de plantas de tratamiento de aguas desarrollados por AWT S.A., los cuales requieren ser verificados para garantizar su correcto funcionamiento.

3. RESPONSABILIDADES

- El inspector de Control de Calidad Eléctrico, quien es responsable de supervisar la ejecución de la prueba funcionamiento de acuerdo a lo prescrito en el presente documento, a su vez está encargado de aprobar el registro generado de la misma.
- El Supervisor/Técnico Eléctrico, quien es responsable de ejecutar las actividades necesarias durante y después de la prueba de funcionamiento de instrumentos de medición.

4. EQUIPOS

Banco de pruebas de instrumentos de medición (BP-AWT-01), tubería PVC, acoples PVC, multímetro.

5. ACTIVIDADES

5.1. Preparación

- 5.1.1. Después de que los instrumentos adquiridos ingresen a bodega y hayan sido registrados, se solicitará autorización de bodega para la entrega de estos, de tal forma que se pueda realizar la prueba de funcionamiento correspondiente.
- 5.1.2. El personal encargado de realizar la prueba debe contar con los EPP's (equipo de protección personal) básicos, para la integridad física del mismo.



**PROCEDIMIENTO:
PARA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Departamento: Ingeniería

Código: AWT-PR-01-001

Fecha: 11/02/2016

REVISIÓN: C

Página 4 de 5

- 5.1.3. Verificar que en el tanque de almacenamiento del banco de pruebas (BP-AWT-01) exista la presencia de agua suficiente para realizar las pruebas. (Mínimo 25 galones)
- 5.1.4. Se hará una limpieza por el interior de las tuberías del banco de pruebas con agua corriente antes de verificar el funcionamiento de los instrumentos, asegurando de que no exista objetos extraños, tales como basura.
- 5.1.5. Colocar los instrumentos de medición de acuerdo al "ANEXO A", estos deberán estar instalados de tal manera que puedan ser leídos directamente por el operario a cargo de realizar la prueba, en caso de que no se prueben todos los instrumentos al mismo tiempo se deberá cerrar la válvula de paso correspondiente para que no existan fugas de agua.
- 5.1.6. Conectar la señal analógica de los diferentes instrumentos de medición al tablero de control del banco de pruebas.
- 5.1.7. Antes de energizar el tablero de control del banco de pruebas verificar el estado físico del mismo (que no exista cables sueltos, el aislamiento del cable no presente laceraciones, las borneras de conexión se encuentren completamente ajustadas).
- 5.1.8. Para los analizadores de pH y oxígeno disuelto se debe colocar los sensores correspondientes en el tanque de almacenamiento de agua. En caso de contar con una muestra de pH conocida colocar el respectivo sensor en dicha muestra.
- 5.1.9. Mediante un cable Ethernet comunicar el PLC del banco de pruebas con el computador que contiene el programa respectivo.

5.2. Pruebas de verificación

- 5.2.1. Energizar el tablero de control y verificar que los instrumentos se encuentren encendidos. (Voltaje primario del tablero 110 VAC).
- 5.2.2. Verificar que exista comunicación entre en el computador y el PLC ejecutando el comando PING mediante la consola CMD hacia la IP fija del PLC (192.168.0.100).
- 5.2.3. Permitir la circulación de agua por toda tubería, esto se realiza encendiendo la bomba del banco de pruebas.
- 5.2.4. Registrar las lecturas de los instrumentos de medición durante un tiempo de dos horas y anexar el gráfico de la variable vs tiempo, en el respectivo registro.



**PROCEDIMIENTO:
PARA PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

Departamento: Ingeniería

Código: AWT-PR-01-001

Fecha: 11/02/2016

REVISIÓN: C

Página 5 de 5

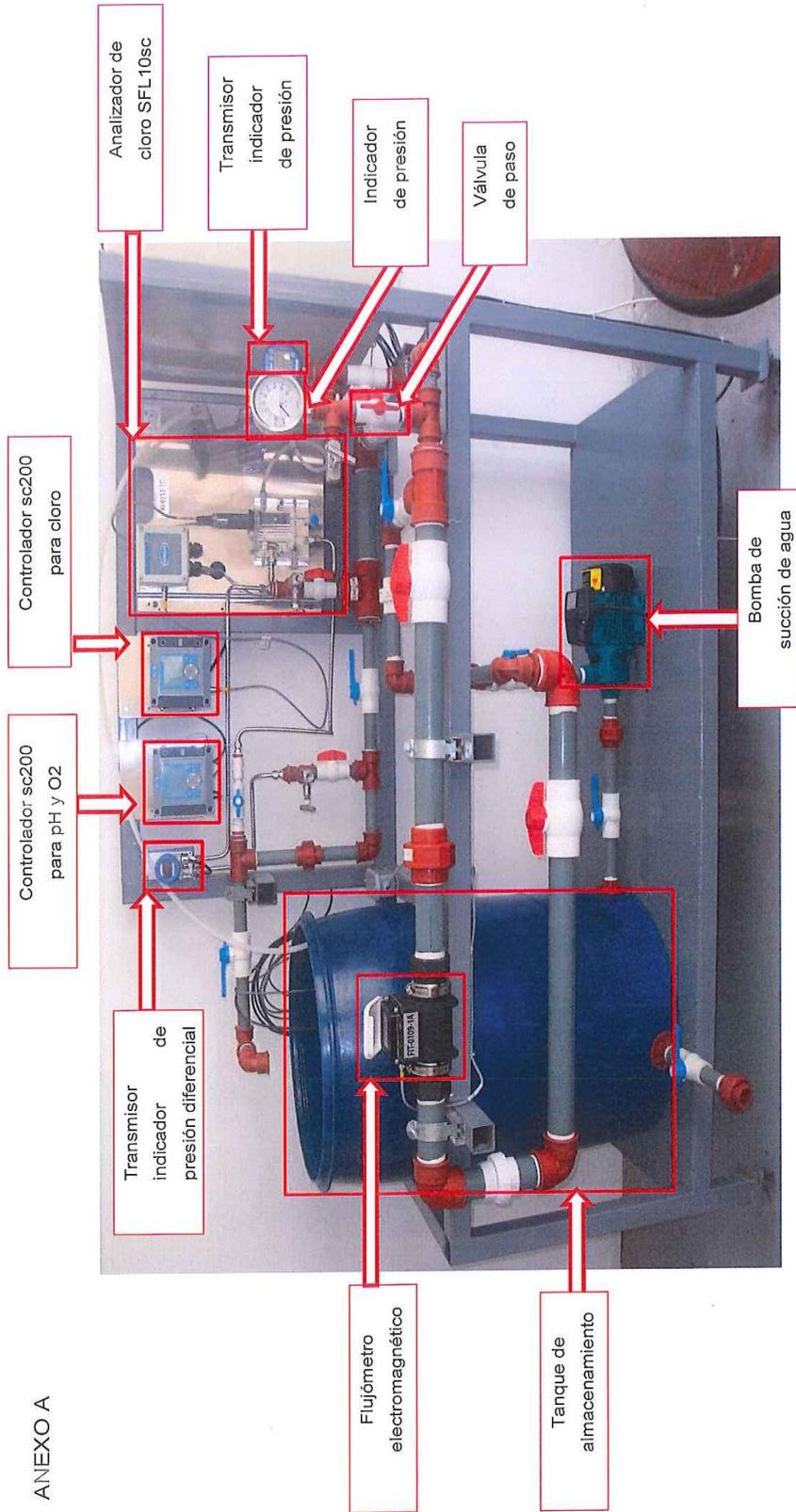
5.3. Finalización de la prueba

- 5.3.1. Apagar la bomba de agua con el fin de que no exista circulación de agua por la tubería.
- 5.3.2. Cerrar todas las válvulas de paso de los instrumentos de medición.
- 5.3.3. Mediante la válvula de aguja se despresuriza la línea donde se encuentra montado el instrumento.
- 5.3.4. Desmontar todos los instrumentos de medición y demás accesorios utilizados para la prueba de verificación.

6. ANEXOS

Anexo A.: Montaje de instrumentos de medición en el banco de pruebas

ANEXO A





REGISTRO DE FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

PROYECTO: _____
 CLIENTE: _____ REV.: C
 FECHA DE PRUEBA: _____

RESULTADO SATISFACTORIO
 NO SATISFACTORIO

DETALLES DEL INSTRUMENTO A COMPROBARSE			
Tipo de Instrumento:	_____	Rango de medición:	_____
Fabricante:	_____	Unidad de medición:	_____
Modelo:	_____	Precisión del transmisor:	_____
Nº de Serie:	_____	Voltaje de alimentación:	_____

RESULTADOS DE LA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO			
ITEM	VARIABLE	FECHA Y HORA	VALOR
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			

GRAFICA PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO

NOTA 1: Se debe realizar un REGISTRO por cada instrumento de medición a comprobarse.
 NOTA 2: Basarse en el PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN AWT-PR-01-001

OBSERVACIONES:

	REGISTRADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR
NOMBRE	_____	_____	_____
CARGO	_____	_____	_____
FRIMA	_____	_____	_____
FECHA	_____	_____	_____