

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**MODALIDAD DE TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE BACHILLERATO**  
**EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“MODIFICAR CONDICIONES DE TRABAJO DEL BANCO DE PRUEBAS DE**  
**HIDRÓMETROS AUTOMÁTICO EN LABORATORIO DE FLUJO AGUA DEL**  
**AYA”**

**AUTOR: EMANUEL RÍOS MONTERO**

**TUTOR: DENNIS SÁNCHEZ FALLAS**

**SEDE CENTRAL**

**San José, mayo, 2023**

## CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO GENERAL .....	2
CONTENIDO DE FIGURAS .....	6
CONTENIDO DE TABLAS .....	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
Planteamiento del problema.....	13
Objetivos .....	13
Objetivo general.....	13
Objetivos específicos .....	13
Justificación .....	14
Antecedentes .....	15
Internacionales .....	15
Nacionales.....	18
Proyecciones .....	21
Limitaciones.....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	22
NEUMÁTICA. ....	22
Actuadores neumáticos. ....	23
Servomotores de diafragma. ....	23
Cilindros neumáticos de movimiento lineal. ....	23
Actuadores neumáticos de movimiento giratorio. ....	24
Cilindro giratorio de pistón-cremallera–piñón .....	24
Motores neumáticos.....	24

AIRE COMPRIMIDO .....	25
Generación del aire comprimido.....	25
Proceso de preparación del aire. ....	27
HIDRÁULICA.....	33
CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).....	34
PLC SIEMENS S7-1200 .....	34
Principios básicos del PLC .....	36
Ejecución del programa de usuario.....	36
Procesamiento de valores analógicos .....	37
Configuración de dispositivos.....	38
Temporizadores. ....	39
Contadores. ....	40
Módulos de comunicación.....	41
Módulo de comunicación 6ES7241-1AH32-0XB0.....	41
INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI) .....	45
Paneles SIMATIC HMI Basic. ....	45
TIA PORTAL SIEMENS .....	47
Software de programación STEP 7.....	47
AGUA POTABLE.....	49
Medidor de agua potable.....	49
Banco de pruebas de medidores de agua potable.....	50
Válvulas de agua potable. ....	51
Válvula de bola o esfera.....	52
Válvula de compuerta. ....	53

Válvula de mariposa. ....	53
Medidores de flujo electromagnéticos. ....	54
Beneficios clave de los medidores de flujo electromagnéticos. ....	55
Funcionamiento los medidores de flujo electromagnéticos. ....	56
Medición de nivel. ....	56
Medidores de nivel de líquido. ....	57
Medidor capacitivo ....	58
<b>BÁSCULAS O BALANZAS.</b> ....	59
Terminal de pesaje Mettler Toledo ICS435.....	60
<b>BOMBAS HIDRÁULICAS.</b> ....	61
Bombas rotodinámicas.....	62
Bombas de desplazamiento positivo.....	63
<b>NORMA INTE/ISO 4064</b> .....	64
Medidores de agua para agua potable fría y agua caliente. Parte 2: Métodos de ensayo. ....	64
Condiciones de referencia.....	64
Condiciones requeridas para todos los ensayos.....	65
Reglas generales concernientes a la instalación y localización de los ensayos.....	65
Ensayos de grupos de medidores.....	66
Ensayos con lecturas tomadas con el medidor en reposo.....	66
Dispositivo patrón calibrado.....	67
Presión de suministro.....	68
Caudal.....	68
Resolución del dispositivo indicador.....	69
Temperatura.....	69

FINANZAS.....	70
El valor neto actual (VAN).....	70
La regla del valor actual neto: si el VAN es positivo... ..	71
La tasa interna de retorno.....	72
La regla de decisión de la TIR.....	73
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	75
Enfoque de la investigación.....	75
Análisis Cualitativo.....	75
Análisis Cuantitativo.....	76
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL DISEÑO. ....	77
Banco de pruebas .....	78
Pruebas de ensayo.....	79
Selección de medidores .....	80
Montaje de la bancada de medidores en el equipo. ....	80
Purga del sistema, selección y regulación de caudales.....	80
Toma de datos inicial.....	82
Ensayo.....	82
Toma de datos final.....	83
Análisis de resultados de ensayos .....	83
Situación actual del equipo .....	85
Sistema de suministro de agua.....	86
Sistema de válvulas.....	89
Sistema de suministro de aire comprimido.....	89
Bancada de medidores .....	90

Sistema de medición de masa de volumen de agua .....	90
Sistema de medición de caudal de agua.....	90
Sistema de control automático del equipo .....	91
HMI de control del equipo.....	92
Programación del PLC.....	93
Análisis de la situación actual, diseño de las mejoras y su propuesta. ....	106
Propuesta de sistema de suministro de agua .....	106
Propuesta de sistema de suministro de aire .....	110
Cálculo de pérdida de flujo por altitud de la instalación del compresor.....	110
Propuesta de sistema de control automático .....	119
Propuesta de panel HMI .....	123
Propuesta de programación del PLC .....	127
Análisis financiero .....	132
Conclusiones .....	138
Recomendaciones .....	139
<b>CAPÍTULO VI. PROPUESTA .....</b>	<b>140</b>
Referencias .....	141
Anexos .....	143

## **CONTENIDO DE FIGURAS**

Figura 1. Neumática. ....	22
Figura 2. Servomotores de diafragma, .....	23
Figura 3. Cilindro neumático de movimiento lineal.....	24
Figura 4. Cilindro giratorio de pistón-cremallera-piñón.....	24

Figura 5. Motor neumático.....	25
Figura 6. Impurezas del aire comprimido.....	25
Figura 7. Aplicaciones y Calidad del aire para aplicaciones neumáticas,.....	26
Figura 8. Contenido de agua en el aire según la temperatura El eje X indica temperaturas y el Y contenido del agua. ....	29
Figura 9. Secado por frío, .....	30
Figura 10. Secado por absorción, .....	31
Figura 11. Secador de membrana .....	32
Figura 12. PLC SIMATIC S7-1200. ....	35
Figura 13. Ejemplo: procesamiento de valores analógicos: .....	38
Figura 14. Instrucciones con temporizadores .....	40
Figura 15. Instrucciones con contadores .....	41
Figura 16. Módulo de comunicación 6ES7241-1AH32-0XB0 .....	42
Figura 17. Ficha técnica del producto, .....	43
Figura 18. Ficha técnica del producto, .....	44
Figura 19. Panel HMI SIMATIC.....	46
Figura 20. Medidor de agua potable.....	49
Figura 21. Banco de medidores. ....	50
Figura 22. Tipos de válvulas. ....	52
Figura 23. Válvula de bola. ....	52
Figura 24. Válvula de mariposa.....	53
Figura 25. Medidor de flujo electromagnético. ....	55
Figura 26. Bascula. ....	59
Figura 27. Terminal de pesaje ICS435.....	60
Figura 28. Ficha técnica terminal de pesaje ICS435. ....	61
Figura 29. Algunos tipos de bombas para agua potable.....	62
Figura 30. Diagrama de flujo de las pruebas de ensayo .....	79
Figura 31. Banco de Pruebas .....	85
Figura 32. Tanque de mediciones 200L .....	87
Figura 33. Panel de potencia de las bombas.....	88
Figura 34. Ficha técnica compresor PORTER CABLE C7550 .....	89

Figura 35. Ficha técnica del caudalímetro ENDRESS+HAUSER.....	91
Figura 36. Pantalla HMI de control.....	93
Figura 37. Programación de botón de paro de emergencia.....	94
Figura 38. Programación de botón de paro de emergencia.....	95
Figura 39. Programación de apertura y cierre de la bancada.....	95
Figura 40. Programación control de bomba centrífuga.....	96
Figura 41. Programación de señal para actuar la válvula V-01.....	97
Figura 42. Programación de señal para actuar la válvula V-03.....	98
Figura 43. Programación de señal para actuar la válvula V-04.....	99
Figura 44. Programación de señal para actuar la válvula V-06.....	100
Figura 45. Programación de señal para actuar la válvula V-06.....	101
Figura 46. Programación de señal para actuar la válvula V-08.....	102
Figura 47. Programación de señal para actuar la válvula V-08.....	102
Figura 48. Programación de señal para actuar la válvula V-10.....	103
Figura 49. Programación de señal para actuar la válvula V-10.....	104
Figura 50. Programación de señal para actuar la válvula V-10.....	105
Figura 51. Sensor capacitivo AUTONICS CR18-8D.....	107
Figura 52. Ficha técnica sensor capacitivo AUTONICS CR18-8D.....	108
Figura 53. Secador Refrigerativo KAESER KRYOSEC.....	113
Figura 54. Ficha técnica secadora refrigerativo KEASER SECOTEC TA.....	114
Figura 55. Ficha técnica secadora refrigerativo KEASER SECOTEC TA.....	115
Figura 56. Ficha técnica de filtros KAESER FILTER.....	117
Figura 57. Ficha técnica de filtros KAESER FILTER.....	118
Figura 58. UPS APC BVX1200L-LM.....	120
Figura 59. Ficha técnica de UPS APC BVX1200L-LM.....	121
Figura 60. Ficha técnica de UPS APC BVX1200L-LM.....	122
Figura 61. Propuesta de diseño de HMI.....	123
Figura 62. Indicador de estado con color sobre las válvulas.....	124
Figura 63. Menú de ingreso de tiempo de ensayo.....	125
Figura 64. Temporizador de válvula para caudales Q3.....	127
Figura 65. Temporizador de válvula para caudales Q2.....	128

Figura 66. Temporizador de válvula para caudales Q1 .....	129
Figura 67. Temporizador de válvula para caudales QAR .....	130
Figura 68. Segmentos de control temporizado de válvulas .....	131

### **CONTENIDO DE TABLAS**

Tabla 1. Caudales y tiempos para prueba de medidores .....	126
Tabla 2. Costo de inversión .....	134
Tabla 3. Costos de operación del laboratorio sin las mejoras propuestas. ....	134
Tabla 4. Costos de operación del laboratorio con las mejoras propuestas. ....	135
Tabla 5. Ahorro de operación anual. ....	135

## ***Dedicatoria***

### **A mi Mamá**

Es la mujer que me ha enseñado todo en la vida, que ha estado para apoyarme en los buenos y en los malos momentos, la que nunca se rinde a pesar de los problemas y dificultades que ha tenido en la vida, es la persona que más admiro en este mundo y ha sido un pilar en mi vida, un gran ejemplo a seguir, como persona, como mamá y como profesional, gracias por todo el apoyo que me brindas, soy un hijo muy afortunado por tener una madre tan buena.

### **A mi Papá**

Que a pesar de la distancia y la poca vida que hemos compartido juntos, siempre ha sido un ejemplo por seguir y siempre de alguna forma ha estado a mi lado apoyándome y enseñando lo que es malo y lo que es bueno, dándome consejos y regaños, eres muy importante para mí y siempre te llevo en el corazón, y te quiero muchísimo.

### **A mis hermanos**

Que a pesar de la discusiones y malentendidos en algún momento hemos tenido, siempre han estado a mi lado en todo el proceso con apoyo y cariño.

### **A mi familia**

Gracias a todos por siempre darme apoyo incondicional, y por todos los buenos momentos que compartimos y el cariño que me han dado.

## ***Agradecimientos***

*Primero agradecerle a Dios, que siempre ha estado presente en mi vida y me ha dado la sabiduría y me ha guiado hasta el día de hoy.*

*Agradecerle a mi mamá, que siempre ha estado ahí para apoyarme y decirme cuando estoy haciendo bien las cosas y cuando no, regañarme y enseñarme que estoy equivocado, porque eso ha hecho que hoy sea una mejor persona, es la razón por la que todos los días me levanto con mucho esmero a seguir dando todo de mí, en todo lo que haga, sin ella no podría haber alcanzado el logro de llegar hasta aquí, no son suficientes los agradecimiento que para todo lo que mi madre representa en mi vida, te amo Mamá.*

*Agradecerle a mi papá, por tanta enseñanza que me ha dado, porque hoy mucho de lo que sé y lo que soy se lo debo a él, siempre me dio herramientas en la vida para triunfar y con las cuales me pudiese defender en todos los ámbitos de la vida, por haber estado ahí para mí cuando lo necesité, porque a pesar de todo siempre me mostró el lado positivo de las cosas y darme un buen ejemplo a seguir, te amo Papá.*

*A mis hermanos Marco y Laura, que también son una parte muy importante en mi vida y siempre han estado para apoyarme en las buenas y en las malas, que me han brindado todo su amor, cariño, comprensión y apoyo, con ellos he pasado de los mejores momentos en mi vida, y son muy importantes en mi día a día porque me recuerdan que tengo mucho por lo cual seguir adelante en la vida.*

*A Marielena, por siempre alentarme a seguir en los momentos en los que sentí que ya no daba más y recordarme que con esfuerzo todo se logra y estar ahí para ayudarme y motivarme a continuar.*

*A todos mis amigos de la universidad, que siempre estuvieron para apoyarme y enseñarme desde el primer día, siempre estuvieron ahí para mi explicándome y estudiar conmigo, es también gracias a ellos el llegar hasta aquí.*

## Resumen

La principal función de un banco de pruebas de hidrómetros es determinar el error porcentual registrado por el medidor de agua, ya sea un sobre registro o un subregistro, para esto el equipo debe hacer pasar un caudal y volumen determinado, bajo ciertas condiciones como lo son temperatura y presión manométrica del fluido.

Este trabajo consiste en realizar una serie de propuestas de mejora en este banco, para realizar dichas pruebas de una manera más acertada, minimizando el error humano y mejorando la estabilidad ya que de momento el banco de pruebas se está utilizando en modo semi automático, se regulan los caudales mediante un ramal de tuberías con una configuración de llaves de acción manual, luego se hace pasar el volumen y se detiene el equipo manualmente en el momento que se completa el volumen requerido, lo cual vuelve el equipo impreciso, ya que no siempre se detiene efectivamente, además de algunas carencias en el funcionamiento, una de ellas es la apertura de la bancada de medidores cuando hay cortes de energía eléctrica, lo que provoca derrames de agua e interrupción de la prueba por lo que se tiene que repetir.

Se iniciará con inspecciones del equipo para determinar cuáles son los componentes presentes en el equipo y que se requieren implementar para mejorar el funcionamiento y estabilidad del equipo. Se procede con una investigación acerca de los componentes que están presentes en el equipo y su documentación, como válvulas, bombas, caudalímetros, manuales, diagramas, controlador lógico programable o como sus siglas en inglés PLC, y de la herramienta de trabajo STEP7 de SIEMENS, con la que se hará la propuesta de los cambios necesarios en el PLC.

Se hará un análisis de la situación actual del equipo para determinar los fallos y carencias que presenta, con la cual se pueda realizar una propuesta de mejora y un análisis comparativo de los cambios que aportaron dichas mejoras y su costo, llegando a la conclusión de la importancia de las mejoras realizadas para la sostenibilidad del servicio que le brinda el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados al país.

# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## **Planteamiento del problema**

¿Cuáles son las mejoras que se ajustan a las necesidades del banco de pruebas de hidrómetros del laboratorio de flujo de agua del AYA?

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Proponer una mejora en el funcionamiento de los instrumentos y equipos del banco automático de pruebas a hidrómetros, de manera que se puedan establecer y corregir funciones que se ajusten mejor a las necesidades del laboratorio de flujo de agua en el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

### **Objetivos específicos**

1. Explicar el proceso de calibración en el banco de hidrómetros de diámetro nominal 15 y 19 milímetros en el banco de pruebas.
2. Identificar los distintos equipos e instrumentos que incorpora el banco de pruebas.
3. Investigar sobre el programa que controla el equipo y su documentación asociada, (manuales, diagramas, planos).
4. Determinar las mejoras requeridas por el laboratorio en el banco de pruebas y la elaboración de una propuesta para mejorar el funcionamiento del banco y sus sistemas asociados.
5. Realizar un análisis económico de los costos de implementar las mejoras de la propuesta.

## **Justificación**

Esta tesis hace énfasis en una propuesta para optimizar el funcionamiento de un banco automático de pruebas de hidrómetros, que tiene como objetivo principal dar estabilidad y mejorar las pruebas volumétricas que se le realizan a los hidrómetros, de manera que se pueda dar un mejor resultado de las pruebas volumétricas y garantizar la continuidad del servicio que brinda la institución al país.

Estas modificaciones se realizan para un banco de pruebas a hidrómetros, ubicado en laboratorio de flujo de agua del plantel Carlos Segura del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados en la capital San José. Esta es una institución pública que brinda acceso universal al agua potable y saneamiento de forma comprometida con la salud, la sostenibilidad del recurso hídrico y el desarrollo económico y social del país.

De manera que la continuidad y estabilidad de las pruebas que se realizan en el laboratorio son de suma importancia para garantizar la sostenibilidad del servicio y un consumo del recurso hídrico responsable y controlado, por lo que la institución y el país se verán beneficiados con las mejoras propuestas, ya que no se le está sacando el máximo provecho al equipo.

Este cuenta con funciones deshabilitadas por falta de configuración en el programa de control lógico, otras con funcionamiento incorrecto y algunas carencias, las cuales pueden ser modificadas permitiendo utilizar el equipo en modo automático, mitigado errores humanos y mejorando la estabilidad y tiempo requerido en las pruebas volumétricas, con el fin de dar un servicio más estable, continuo, acertado y justo para la población del país.

## **Antecedentes**

### **Internacionales**

#### **Antecedente n.º1**

**INSTITUCIÓN:** Universidad Privada del Norte (Cajamarca-Perú)

**TÍTULO:** Evaluación del subregistro de los medidores de acuerdo con su antigüedad en la ciudad de Cajamarca para el año 2015.

**AUTORES:** Tuesta Barboza Claudia Pamela, Vargas Herrera Deysi Lisbeth

**AÑO:** 2015

En este trabajo de investigación los autores Tuesta Barboza, Claudia Pamela y Vargas Herrera Deysi Lisbeth brindan información sobre precauciones que se deben tomar en los bancos de pruebas, en las características que debe cumplir y las medidas a tomar en cuenta al realizar ensayos de calibración, por lo que se va a tomar estas recomendaciones para la implementación de las mejoras en este proyecto.

#### **Antecedente N.º2**

**INSTITUCIÓN:** Editorial Marcombo S.A.

**TÍTULO:** Sistemas de automatización y autómatas programables (Tercera edición)

**AUTORES:** Enrique Mandado, Jorge Marcos Acevedo, Celso Fernández Silva, José Ignacio Armesto Quiroga, José Luis Rivas López, José María Núñez Ortuño

**AÑO:** 2018

Este libro pretende transmitir al lector los conceptos tecnológicos ligados a los controladores electrónicos y su utilización para implementar sistemas de automatización, En la parte 2, constituida por los capítulos 2 y 3, se describen el sistema de programación STEP7 y el sistema IEC 61131-3 respectivamente y se muestra su utilización mediante un conjunto de ejemplos reales adecuadamente seleccionados.

Dado que el banco de pruebas involucrado en este proyecto usa un controlador lógico programable de la marca SIEMENS y el sistema de programación STEP7 se usará este libro como medio de investigación y consulta para el uso en este proyecto.

**Antecedente n.º3**

**INSTITUCIÓN:** Revista UIS ingenierías.

**TÍTULO:** Implementación de control PID de nivel en laboratorio usando PLC SIEMENS S7-300

**AUTORES:** Armando Simmonds-Mendoza<sup>1</sup>, Nehider Cabrera-Londoño<sup>2</sup>, Neimir Berdugo-Barandica<sup>3</sup>, Javier Roldán-Mckinley<sup>4</sup>, Eugenio Yime-Rodríguez

**AÑO:** 2018

En este trabajo se detalla la implementación de un controlador PID didáctico para el control de nivel de agua. El sistema integra una bomba centrífuga, tuberías y elementos conectores varios, válvulas de flujo, una válvula proporcional DANFOSS, un sensor ultrasónico de nivel FLOWLINE DL10 y usando Simatic WinCE en un PLC (programa de control lógico) SIEMENS S7-300. Este trabajo será tomado en consideración como referencia para investigación y consulta del uso de PLC SIEMENS y su configuración del proyecto.

**Antecedente n.º4**

**INSTITUCIÓN:** Universidad Cesar Vallejo (Lima Perú).

**TÍTULO:** Análisis de las competencias de Metrología industrial en control de producción y procesos en la formación de ingenieros industriales, Lima 2020

**AUTORES:** Mtro. Astuñaua Balvin, Víctor Timoteo

**AÑO:** 2020

De esta tesis se rescata textualmente un párrafo que menciona sobre la importancia de la metrología industrial aplicada:

La calidad del producto y proceso depende de la metrología industrial aplicada Según CEM (2019). La metrología aplicada o industrial está relacionada con el aseguramiento de la exactitud de los instrumentos de medida utilizados en los procesos productivos y de control

de la industria. Guillén, E (2016). Define como las disposiciones para lograr que, en los procesos industriales, los instrumentos de medición estén en buenas condiciones técnicas y que las mediciones se hagan correctamente. Según De Máquinas y Herramientas (2019). Define la Metrología industrial centrada en aquellas medidas aplicadas a los procesos de producción y al control de calidad de los materiales; en los equipos e instrumentos de utilizados para medir, sus procedimientos de calibración y los procesos mismos de medición. La producción cuasi artesanal, la automatización de los procesos productivos, la conversión de lo analógico a lo digital, hasta los actuales desafíos que enfrenta la industria 4.0 ha signado el desarrollo de la metrología industrial. Los entrevistados manifestaron que el control de calidad enfocado en el proceso de producción juega un rol importante debido a que involucra aspectos tales como el personal del área de producción, inspecciones, materia prima, entre otros los cuales están correlacionados y orientados a ofrecer a los clientes productos estandarizados de tal forma que satisfaga sus necesidades.

Ya que el tema de la metrología es uno utilizado e implementado por el laboratorio de flujo de agua del AYA se usará como una referencia como ideología de trabajo para las mejoras a implementar en el banco de pruebas a hidrómetros, tratando de implementar mejoras metrológicamente competentes y acertadas.

#### **Antecedente n.º 5**

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Piura (Perú).

**TÍTULO:** Diseño y fabricación de un prototipo de banco de pruebas portátil para medidores de agua potable.

**AUTORES:** Gustavo Lindao Miranda

**AÑO:** 2018

En este proyecto el autor realiza el diseño y fabricación de un prototipo de banco de pruebas para medidores de agua potable, en este el autor realiza varios cálculos de incertidumbre acerca de errores de medición y otros que se tomaran en consideración a la hora de hacer el análisis de datos de los ensayos del proyecto.

**Antecedente n.º6****INSTITUCIÓN:** SIEMENS**TÍTULO:** *Manual del sistema S7 Controlador programable S7-1200.***AUTORES:** SIEMENS**AÑO:** 2018

Este manual se va a utilizar para la investigación, análisis y uso del PLC y el sistema de programación STEP7 en las mejoras respectivas al tema de la automatización del banco de pruebas, en él se puede encontrar toda la información requerida para el alcance del proyecto.

**Nacionales****Antecedente n.º1****INSTITUCIÓN:** Universidad Latina de Costa Rica.**TÍTULO:** Prototipo de sistema inteligente de control y ahorro energético.**AUTORES:** Ing. Daniel Herrera Flores.**AÑO:** 2018

En esta tesis el autor hace énfasis en una parte del marco teórico sobre sistemas de aire comprimido y la eficiencia eléctrica en dichos sistemas, lo cual se utilizará como referencia para la implementación de mejoras en el banco de pruebas del proyecto.

**Antecedente n.º2****INSTITUCIÓN:** Universidad Latina de Costa Rica.**TÍTULO:** Impacto del “Robotic Process Automation” (RPA) en la mejora de procesos y su aplicación e importancia en la Ingeniería Industrial.**AUTORES:** Juan José Méndez Murillo.

**AÑO:** 2021

En esta tesis el autor hace énfasis en una parte de los análisis de datos, una metodología de análisis de procesos, la cual se tomará como referencia para el análisis de procesos del banco de pruebas de este proyecto.

**Antecedente n.º3**

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Costa Rica.

**TÍTULO:** Elaboración de una norma técnica y guía para la estimación de la incertidumbre para pruebas de laboratorio de hidrómetros en Costa Rica.

**AUTORES:** René A. Ángel Umaña.

**AÑO:** 2015

En este proyecto el autor hace énfasis en pruebas a hidrómetros y la normativa de la ARESEP AR-HSA 2008, dado que el proyecto abarca temas en dicha normativa se tomará como referencia la información de esta tesis en el cumplimiento de la norma para la implementación en el proyecto.

**Antecedente N.º4**

**INSTITUCIÓN:** Universidad de Costa Rica.

**TÍTULO:** Validación de un procedimiento de calibración de densímetros para un laboratorio de calibración secundario.

**AUTORES:** Juan Carlos Alpízar Herrera.

**AÑO:** 2014

En esta tesis el autor hace énfasis en una parte del contenido de su proyecto acerca de la metrología en Costa Rica, la cual se tomará como referencia para la investigación de este tema en la implementación de este proyecto.

**Antecedente N.º5****INSTITUCIÓN:** Universidad de Costa Rica**TÍTULO:** Análisis financiero para la apertura de una nueva sucursal de Autoservicio Joax S.A., en la provincia de San José**AUTORES:** José Joaquín Peralta Abadía.**AÑO:** 2013

De este autor se usará como ejemplo los métodos usados en el cálculo del Valor neto actual y la Tasa interna de retorno para el análisis financiero de este proyecto.

**Antecedente n.º6****INSTITUCIÓN:** Universidad de Costa Rica**TÍTULO:** Automatización de los procesos de medición del Laboratorio Metrológico Empresarial de RECOPE para cumplir con la norma INTE-ISO/IEC 17025:2005**AUTORES:** Andrés Ruiz Ballesteros**AÑO:** 2016

De este autor se tomará como ejemplo una recomendación, acerca de la implementación de indicador de estado que facilita saber si un equipo se encuentra conectado o desconectado, además se tomará en cuenta la implementación de un sistema de recolección de datos automáticos, de las mediciones de los equipos, que funcionará de guía en la elaboración de este proyecto.

### **Proyecciones**

- Se pretende realizar una propuesta para disminuir el tiempo de uso de la bomba de recirculación del tanque elevado.
- Se espera la que propuesta de automatización solucione a la falta de un sistema automático para detener los ensayos con el cual se puede erradicar la repetición de pruebas.
- Ofrecer una solución a la mala calidad del aire en el suministro de aire comprimido que alimenta los componentes neumáticos del banco de pruebas.
- Proponer un respaldo eléctrico que resguarde el PLC y la pantalla HMI de las distintas afectaciones que pueda tener el suministro eléctrico.

### **Limitaciones**

- La institución solo puede hacer compras de materiales y equipos por medio de licitación y bajo un presupuesto brindado anualmente, por lo que puede que algunas mejoras no lleguen a realizarse.
- La propuesta de este proyecto debe ser implementada por personal capacitado en el tema afín, por una empresa subcontratadas que brinde garantía, ya que no se puede correr el riesgo de sacar de funcionamiento el equipo.
- El compresor del aire cuenta con algunas fugas y alimenta todo el laboratorio, ya que no solo se conecta este equipo, pueden existir algunas variaciones en la presión y caudal.
- Se trabaja las pruebas y características del banco de pruebas únicamente bajo la normativa de la ARESEP, AR-HSA 2008 o la INTE ISO 4064, por lo que se tiene que apegar a dicha norma.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se analizarán y se presentará el marco teórico del proyecto a investigar, es indispensable conocer el significado, el origen y la utilidad de los términos más importantes mencionados en la investigación, ya que esto permitirá un mejor entendimiento del análisis y la solución del problema planteado.

A continuación, se presentan las herramientas e información importante para este proyecto. Por lo que se iniciará con una breve explicación de los elementos que se encuentran presentes.

### NEUMÁTICA.

Según Antonio Creus Sole (2007), indica: La palabra neumática se refiere al estudio del movimiento del aire. Así, en sus comienzos el hombre utilizó el viento en la navegación y en el uso de los molinos para moler granos y bombear agua. En 1868 George Westinghouse fabricó un freno de aire que revolucionó la seguridad en el transporte ferroviario. Es a partir de 1950 cuando la neumática progresa ampliamente en la industria con el desarrollo paralelo de los sensores. Los sistemas de aire comprimido proporcionan un movimiento controlado con el empleo de cilindros y motores neumáticos, y se aplican en herramientas, válvulas de control y posicionadores, martillos neumáticos, pistolas para pintar, motores neumáticos, sistemas de empaquetado, elevadores, herramientas de impacto, prensas neumáticas, robots industriales, vibradores, frenos neumáticos, etc. (p.9).



Figura 1. Neumática.

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/que-es-la-neumatica.htm>

## Actuadores neumáticos.

Según Antonio Creus Sole, indica: Los actuadores neumáticos convierten la energía del aire comprimido en trabajo mecánico generando un movimiento lineal mediante servomotores de diafragma, pistones o cilindros o bien un movimiento giratorio con motores neumáticos (p.15).

### Servomotores de diafragma.

Según Antonio Creus Sole, indica: La aplicación principal de los servomotores de diafragma reside en las válvulas de control neumáticas en las que el servomotor está accionado por la señal neumática de 0,2 - 1 bar (3 – 15 psi) y actúa directamente sobre un vástago que posiciona el obturador con relación al asiento. La posición relativa entre el obturador y el asiento permite pasar el fluido desde un caudal nulo hasta el caudal máximo. (p.15)

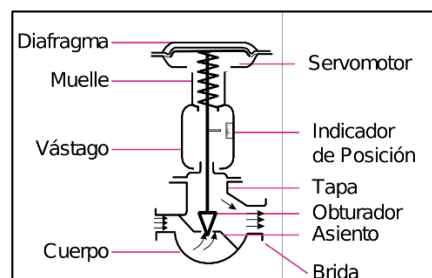


Figura 2. Servomotores de diafragma,

Fuente: [https://cursos.iplacex.cl/CED/IIN4008/S5/ME\\_5.pdf](https://cursos.iplacex.cl/CED/IIN4008/S5/ME_5.pdf).

### Cilindros neumáticos de movimiento lineal.

Según Antonio Creus Sole, indica: Los cilindros neumáticos de movimiento lineal son utilizados comúnmente en aplicaciones donde la fuerza de empuje del pistón y su desplazamiento son elevados. Entre los mismos se encuentran los cilindros de simple y doble efecto, el cilindro tándem, el de multi posición, el cilindro neumático guiado, el cilindro sin vástago y el cilindro neumático de impacto. (p.16)

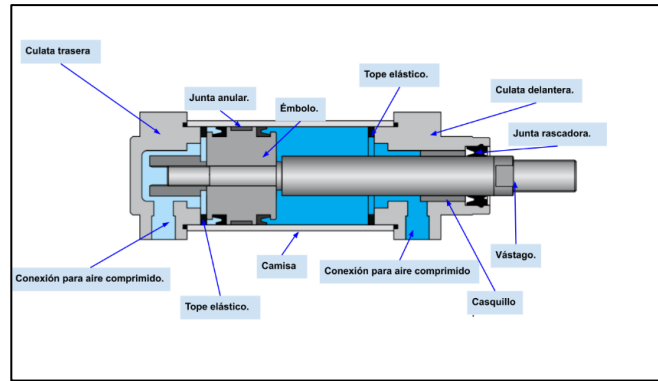


Figura 3. Cilindro neumático de movimiento lineal.

Fuente: <https://automatismoindustrial.com/curso-neumatica-industrial/actuadores-neumaticos/>

## Actuadores neumáticos de movimiento giratorio.

### Cilindro giratorio de pistón-cremallera-piñón

Según Antonio Creus Sole, indica: Los actuadores neumáticos de movimiento giratorio pueden ser: Cilindro giratorio de pistón-cremallera-piñón y de dos pistones con dos cremalleras en los que el movimiento lineal del pistón es transformado en un movimiento giratorio mediante un conjunto de piñón y cremallera y Cilindro de aletas giratorias de doble efecto para ángulos entre  $0^\circ$  y  $270^\circ$  (p.16).

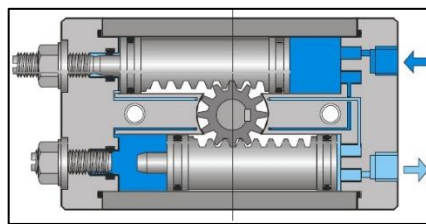


Figura 4. Cilindro giratorio de pistón-cremallera-piñón.

Fuente: <http://fpeingenieriaelectrica.blogspot.com/2016/10/actuadores-neumaticos.html>

## Motores neumáticos.

Según Antonio Creus Sole, indica: El motor neumático típico es el de paletas donde un eje excéntrico dotado de paletas gira a gran velocidad por el aire que llena y vacía las cámaras formadas entre las paletas y el cuerpo del motor (p.17).

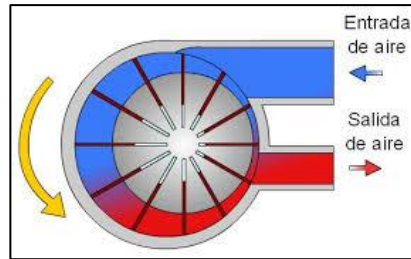


Figura 5. Motor neumático.

Fuente: <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/ecoblog/mmormarf/files/2015/05/El-poder-del-aire.pdf>

## AIRE COMPRIMIDO.

### Generación del aire comprimido.

El aire comprimido, por el hecho de comprimirse, comprime también todas las impurezas que contiene, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. A estas impurezas se suman las partículas que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites y aerosoles y los residuos y depósitos de la red de tuberías, tales como oxido, cascarilla, residuos de soldadura y las sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de las tuberías y accesorios. En la figura 2.84 pueden verse los tipos y tamaños de las impurezas más comunes contenidas en el aire ( $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm}$ ).



Figura 6. Impurezas del aire comprimido

Fuente: <https://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/01/07/aire-comprimido-limpio/>.

Estas impurezas pueden crear partículas más grandes (polvo + aceite) por lo que dan origen muchas veces a averías y pueden conducir a la destrucción de los elementos neumáticos. Es vital eliminarlas en los procesos de producción de aire comprimido, en los compresores y en el de preparación para la alimentación directa de los dispositivos neumáticos. Por otro lado, desde el punto de vista de prevención de los riesgos laborales, el aire de escape que contiene aceite puede dañar la salud de los operarios y, además, es perjudicial para el medio ambiente.

La norma DIN ISO 8573-1 indica las clases de calidad del aire. En la figura 7 pueden verse las aplicaciones y las clases de calidad (DIN ISO 8573-1) recomendadas para cada aplicación neumática.

Aplicaciones	Cuerpos sólidos ( $\mu\text{m}$ )	Punto de condensación del agua ( $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	Contenido máx. de aceite ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Clase de filtración recomendada
Minería	40	–	25	40 $\mu\text{m}$
Lavandería	40	10	5	40 $\mu\text{m}$
Máquinas soldadoras	40	10	25	40 $\mu\text{m}$
Máquinas herramienta	40	3	25	40 $\mu\text{m}$
Cilindros neumáticos	40	3	25	40 $\mu\text{m}$
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	3	25	40 o bien 50 $\mu\text{m}$
Máquinas de embalaje	40	3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Reguladores finos de presión	5	3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire de medición	1	3	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire en almacén	1	-20	1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire para pintura	1	3	0,1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Técnica de detectores	1	-20 o bien -40	0,1	5 $\mu\text{m}$ – 1 $\mu\text{m}$
Aire puro para respirar	0,01	–	–	-0.01 $\mu\text{m}$

Clase de calidad del aire (DIN ISO 8573-1)	Tamaño máx. de las partículas en $\mu\text{m}$	Densidad máxima de las partículas en $\text{mg}/\text{m}^3$ (ISO 554)	Punto máx. de condensación bajo presión en $^{\circ}\text{C}$	Contenido máx. de aceite residual en $\text{mg}/\text{m}^3$ (ISO 554)
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	25
6	–	–	10	–
7	–	–	sin definir	–

Figura 7. Aplicaciones y Calidad del aire para aplicaciones neumáticas,

Fuente: del libro de neumática e hidráulica.

### Proceso de preparación del aire.

El proceso puede clasificarse en tres fases. La eliminación de partículas gruesas, el secado y la preparación fina del aire.

En el compresor, el aire se calienta, por lo que es necesario montar un equipo de refrigeración del aire inmediatamente detrás del compresor. El aumento de temperatura en el calentamiento viene dado por la siguiente fórmula:

$$T_2 = T_1 \times \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}$$

*Ecuación #1*

Siendo:

- T1 = Temperatura del aire de entrada al compresor en grados Kelvin
- T2 = Temperatura del aire a la salida del compresor en grados Kelvin
- p1 = Presión del aire a la entrada del compresor en bar
- p2 = Presión del aire a la salida del compresor en bar
- k = 1,38 a 1,4

Por ejemplo, para:

T1 = 288 K, p1 = 1 bar absoluto, p2 = 13 bar absoluto

Resulta:

$$T_2 = 288 \times \left(\frac{13}{1}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 599^{\circ}C$$

*Ecuación #2*

"La refrigeración se consigue en compresores pequeños, con aletas de refrigeración montadas en los cilindros que se encargan de irradiar el calor y en los compresores mayores con un ventilador adicional, que evacua el calor o bien en caso de potencias muy grandes (> 30 kW) con un sistema de refrigeración por circulación de agua en circuito cerrado o abierto. En la figura

8 puede verse que la cantidad de agua contenida en el aire depende de la humedad relativa que es función de la temperatura.

Si no se utiliza un compresor exento de aceite (aros de grafito en el pistón) el aire contendrá una mezcla comprimida de aire y aceite y partículas gruesas que debe extraerse mediante un separador (depósito acumulador situado a la salida del compresor).

A continuación, el aire debe secarse para conseguir que su punto de rocío (temperatura a la cual el exceso de agua se condensa) sea bastante inferior a la temperatura mínima que se va a tener a lo largo del año en el ambiente de trabajo donde están los equipos neumáticos.

El secado tiene lugar en el filtro secador, siendo los procedimientos usuales el secado por frío, el de membrana y el de absorción. En el método de secado por frío o de refrigeración, la temperatura del aire disminuye por efecto de un agente refrigerante, formándose condensado y disminuyendo así el contenido de agua del aire. Puede verse este proceso que suele realizarse en varias fases (aire-aire y aire-agente refrigerante). Se consigue un punto de condensación (temperatura del punto de rocío) de aproximadamente  $+1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Este valor es suficiente si la temperatura de la red de aire comprimido no baja de  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

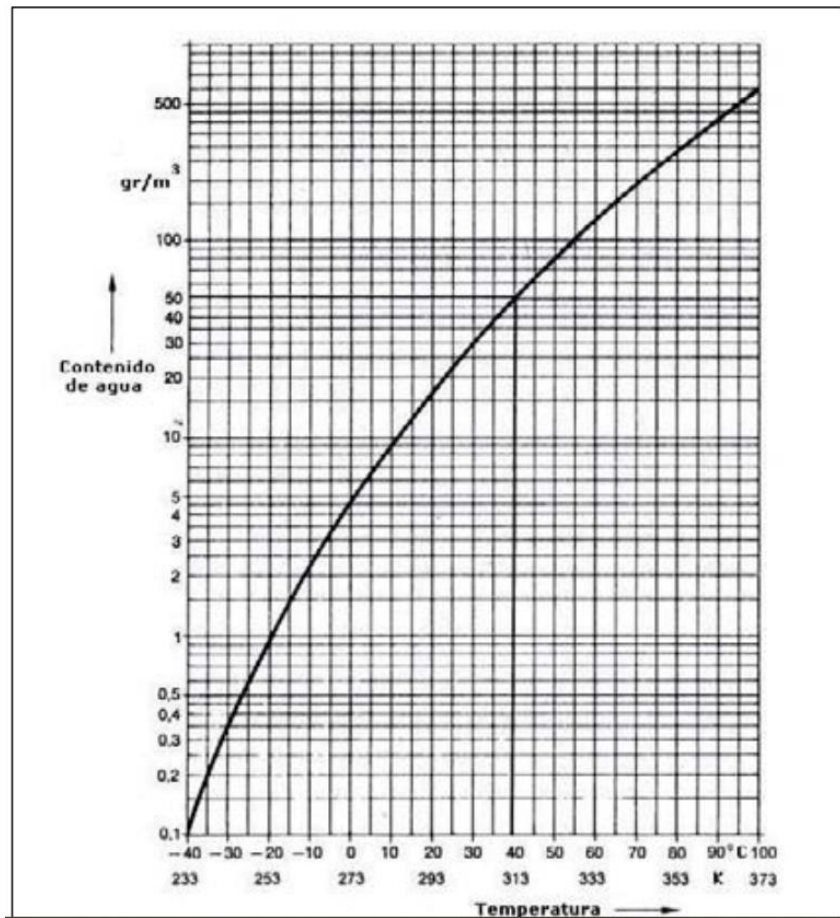


Figura 8. Contenido de agua en el aire según la temperatura El eje X indica temperaturas y el Y contenido del agua.

Fuente: del libro de neumática e hidráulica.

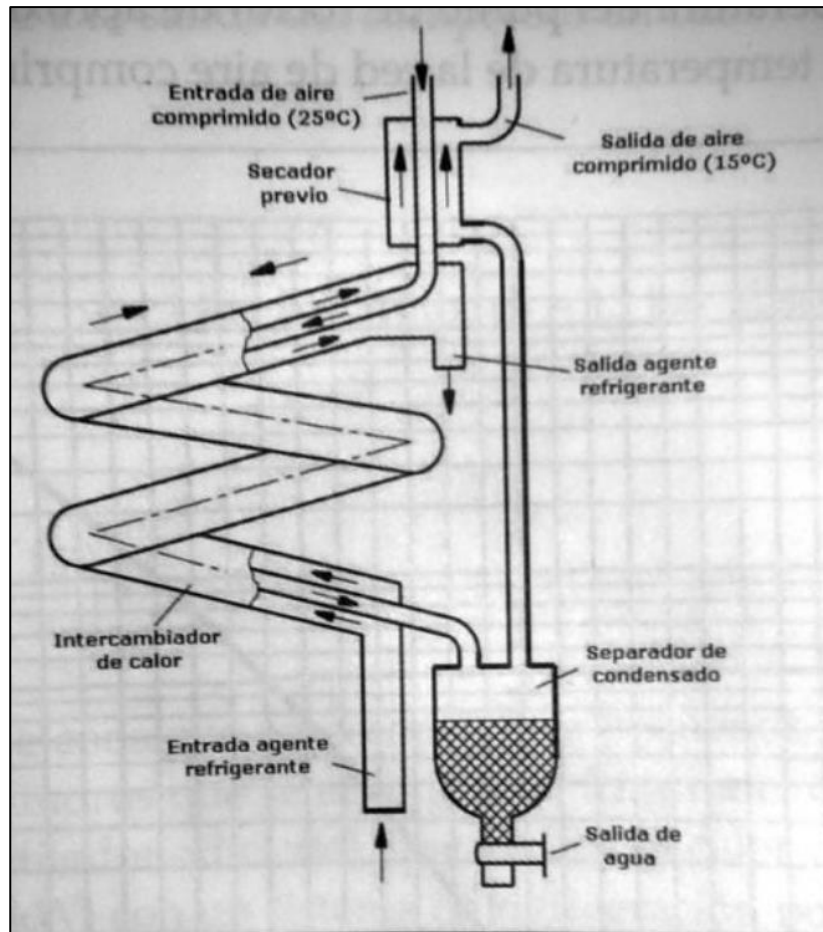


Figura 9. Secado por frío,

Fuente: del libro de neumática e hidráulica.

En el secado por absorción (figura 10), la humedad es absorbida y se disuelve en una sustancia química. La sustancia química es una solución salina a base de NaCl que se consume a razón de 1 kg de sal por cada 13 kg de condensado, por lo que debe reponerse constantemente. Con este sistema, se alcanza un punto de condensación máximo de  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otros agentes refrigerantes son glicerina, ácido sulfúrico, tiza deshidratada y sal de magnesio hiper acidificado.

Los secadores de membrana (figura 11) están compuestos por un haz de fibras huecas permeables al vapor y que está rodeada por aire seco derivado del aire que ya fue sometido al proceso de secado. El secado se produce por la diferencia parcial de presión entre el aire húmedo

en el interior de las fibras huecas y el flujo en sentido contrario del aire seco. Con este método se alcanzan puntos de condensación de hasta  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (punto de rocío del aire comprimido).

Las fibras huecas son de material exento de silicona y están recubiertas de una ínfima capa que forma la superficie de la membrana. Las membranas pueden ser porosas que impiden el paso de agua y aceite y homogéneas que sólo permiten el paso del vapor de agua. El aire de enjuague al proceder del proceso de secado representa un consumo importante de aire que reduce el rendimiento del secador. Estos secadores se utilizan preferentemente en tramos parciales de la red o en sus puntos finales.

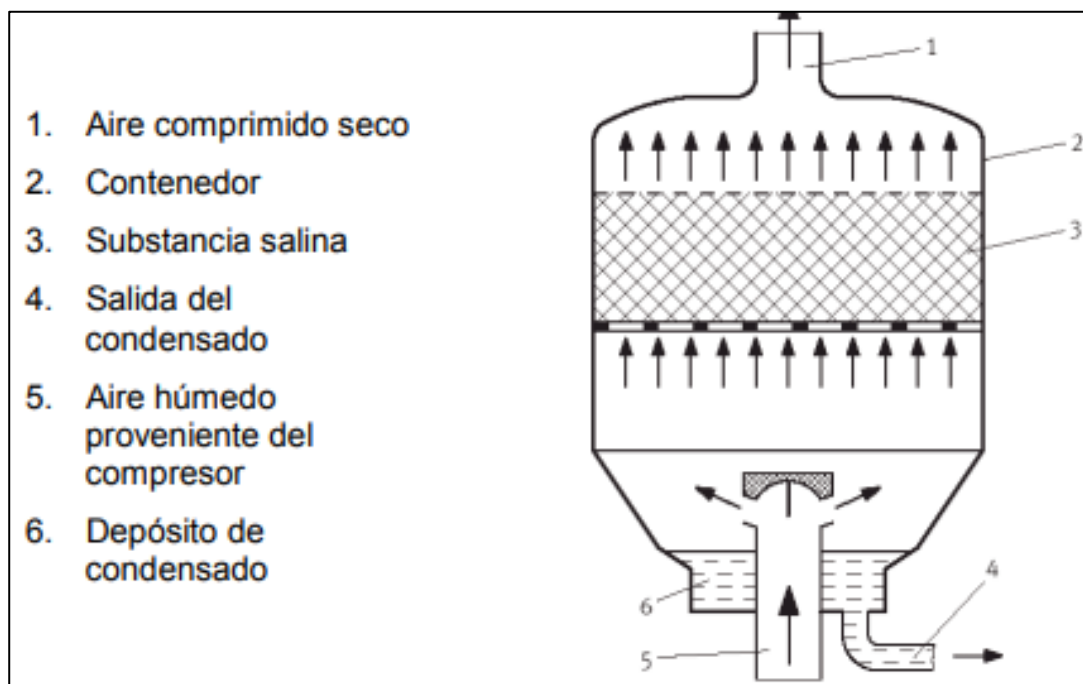
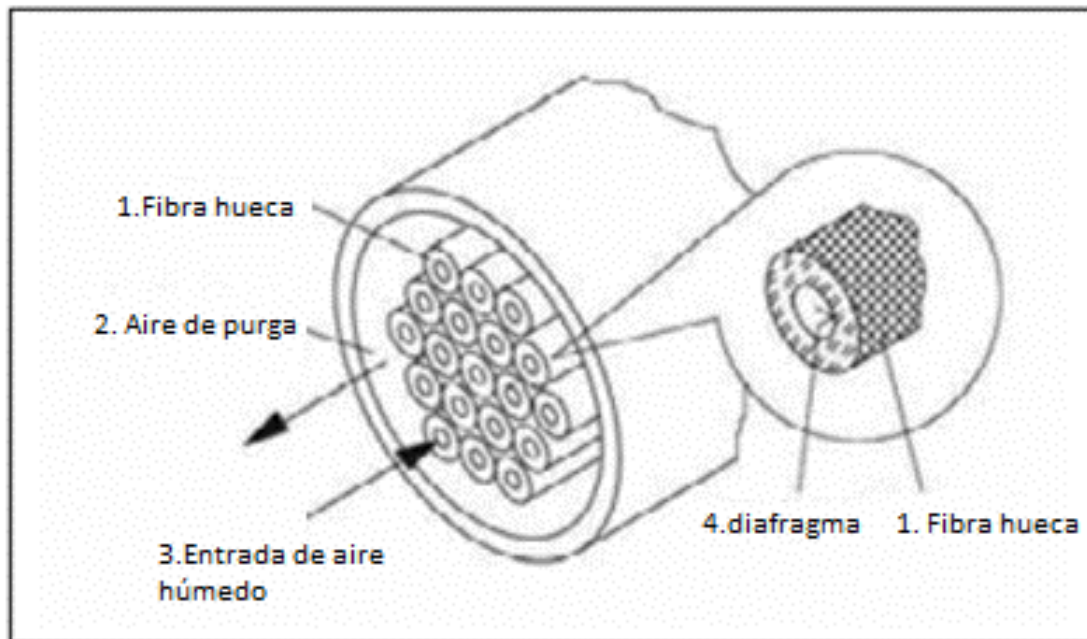


Figura 10. Secado por absorción,

Fuente: <https://renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/cap2-produccion-de-aire-comprimido.pdf>



*Figura 11. Secador de membrana*

*Fuente: del libro de neumática e hidráulica.*

En el proceso de secado por absorción, las fuerzas moleculares inducen el enlace de las moléculas del gas o del vapor. El agente secante es un gel (por ejemplo, gel silícico) que también se consume, aunque puede regenerarse gracias a la disposición representada en la figura 10. Según el tipo de agente secador que se utilice, se alcanzan puntos de condensación de hasta  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  (punto de rocío del aire comprimido).

Para este proceso se utilizará el contenido de las páginas de la 131 a 141 del capítulo 2 del libro de neumática e hidráulica de Antonio Creus Sole en el cálculo y selección de los equipos de eliminación de partículas gruesas, el secado y la preparación fina del aire.

## **HIDRÁULICA**

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. Se representa el movimiento típico de un pistón dentro del cilindro gracias a la energía proporcionada por un sistema hidráulico formado por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización.

Dentro de estos sistemas se encuentran los motores hidráulicos con velocidades que abarcan desde 0,5 rpm hasta 10.000 rpm y el par que proporcionan va desde 1 Nm (baja velocidad) hasta 20.000 Nm (alta velocidad).

Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación y transporte, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo.

Sus aplicaciones en dispositivos fijos abarcan la fabricación y montaje de máquinas de todo tipo, líneas transfer, aparatos de elevación y transporte, prensas, máquinas de inyección y moldeo, máquinas de laminación, ascensores y montacargas.

Tienen las siguientes ventajas:

Gran potencia transmitida con pequeños componentes, posicionamiento preciso, arranque con cargas pesadas, movimientos lineales independientes de la carga ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control, operación suave e inversa, buen control y regulación y disipación favorable de calor.

Y entre sus desventajas figuran:

Polución del ambiente con riesgo de incendio y accidentes en el caso de fuga de aceite, sensibilidad a la suciedad, peligro presente debido a las excesivas presiones, dependencia de la temperatura por cambios en la viscosidad.

Análogamente a los sistemas neumáticos, los sistemas hidráulicos se complementan con los eléctricos y electrónicos mediante dispositivos tales como válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera.

Es fácil, en particular en sistemas complejos, acoplarles un PLC (programmable logic controller) que les permite programar la lógica de funcionamiento de varios cilindros.

### **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE (PLC).**

Según García Higuera, A. (2005). El control de las instalaciones industriales modernas comenzó haciéndose a base de lógica cableada; en la que diversidad de contactores y relés combinaban sus acciones para producir el efecto de control deseado. A medida que las necesidades fueron aumentando y la complejidad de las instalaciones crecía rápidamente, el cableado de control adquiría dimensiones difíciles de abordar y, más aún, de mantener. (p.113)

La aparición de los procesadores permitió ir sustituyendo poco a poco determinados lazos de control destinados a tareas concretas por estos nuevos equipos programados, lo que se comprobó que simplificaba notablemente el conjunto. Poco a poco los sistemas basados en microprocesadores fueron siendo adaptados a cada vez más aplicaciones industriales; ocasionándose como consecuencia una rápida expansión en la que estos sistemas de lógica programada fueron ganándole terreno a la lógica cableada mucho más cara y compleja. Hasta dar lugar a los actuales sistemas basados en autómatas programables industriales. (p.113)

Un autómata programable industrial (API) o Programmable logic controller (PLC) es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambiente industrial, procesos secuenciales. Un PLC trabaja en base a la información recibida por los captadores y siguiendo un programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación. (pp.113-114)

### **PLC SIEMENS S7-1200**

Según SIEMENS en el manual del sistema (2018): El controlador S7-1200 ofrece la flexibilidad y potencia necesarias para controlar una gran variedad de dispositivos para las distintas necesidades de automatización. Gracias a su estructura compacta, configuración flexible y amplio

juego de instrucciones, el S7-1200 es idóneo para controlar una gran variedad de aplicaciones. La CPU combina los siguientes elementos, además de otros, en una caja compacta para crear un controlador potente:

- un microprocesador
- una fuente de alimentación integrada
- circuitos de entrada y salida
- PROFINET incorporado
- E/S de Motion Control rápidas



*Figura 12. PLC SIMATIC S7-1200.*

*Fuente: <https://ditesa.cr/es-es/cpu-1212c-simatic-s7-1200-dc-3-dc-3-dc-8-di-6-do-0105014>*

Una vez cargado el programa en la CPU, esta contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos de la aplicación. La CPU vigila las entradas y cambia el estado de las salidas según la lógica del programa de usuario, que puede incluir lógica booleana, instrucciones de conteo y temporización, funciones matemáticas complejas, Motion Control, así como comunicación con otros dispositivos inteligentes. (p.28)

La CPU incorpora un puerto PROFINET para la comunicación en una red PROFINET. Hay disponibles módulos adicionales para la comunicación a través de redes y protocolos como los siguientes:

- PROFIBUS
- GPRS
- LTE

- WAN
  - RS485
  - RS232
  - RS422
  - CEI
  - DNP3
  - USS
  - MODBUS
- (p.28)

### **Principios básicos del PLC**

Este capítulo 5 del manual del sistema de SIEMENS contiene los principios básicos del funcionamiento del PLC en el cual nos apoyaremos para la investigación y análisis. Este capítulo abarca (pp.85-156) a continuación se mencionan algunos puntos importantes para el proyecto.

### **Ejecución del programa de usuario**

La CPU soporta los siguientes tipos de bloques lógicos que permiten estructurar eficientemente el programa de usuario:

- Los bloques de organización (OBs) definen la estructura del programa. Algunos OBs tienen reacciones y eventos de arranque predefinidos. No obstante, también es posible crear OBs con eventos de arranque personalizados.
- Las funciones (FCs) y los bloques de función (FBs) contienen el código de programa correspondiente a tareas específicas o combinaciones de parámetros. Cada FC o FB provee parámetros de entrada y salida para compartir datos con el bloque invocante. Un FB también utiliza un bloque de datos asociado (denominado DB de instancia) para conservar los valores de datos para la instancia de la llamada de FB. Puede llamar a un FB muchas veces, cada vez con un DB de instancia único. Las llamadas al mismo FB con DB de instancia distintos no afectan a los valores de datos del resto de los DB de instancia.

- Los bloques de datos (DBs) almacenan datos que pueden ser utilizados por los bloques del programa. (p.88)

### **Procesamiento de valores analógicos**

“Los módulos de señales analógicas proporcionan señales de entrada o esperan valores de salida que representen un rango de tensión o de corriente. Estos rangos son  $\pm 10$  V,  $\pm 5$  V,  $\pm 2,5$  V o 0 - 20 mA. Los valores que devuelven los módulos son valores enteros en los que 0 a 27648 representa el rango nominal de corriente, y -27648 a 27648 de tensión. Cualquier valor fuera del rango representa un rebase por exceso o por defecto. Consulte las tablas de representación de entradas analógicas (Página 1511) y representación de salidas analógicas (Página 1512) para más detalles sobre los tipos de valores fuera de rango.

En el programa de control puede ser necesario utilizar estos valores en unidades de ingeniería, por ejemplo, para representar un volumen, temperatura, peso o cualquier otro valor cuantitativo. En el caso de una entrada analógica, para hacerlo primero hay que normalizar el valor analógico a un valor real (coma flotante) de 0,0 a 1,0. A continuación hay que escalarlo a los valores mínimo y máximo de las unidades de ingeniería que representa. En el caso de valores de unidades de ingeniería que deben convertirse a valores de salida analógicos, primero hay que normalizar el valor en las unidades de ingeniería a un valor entre 0,0 y 1,0, y a continuación escalarlo entre 0 y 27648 o -27648 a 27648, dependiendo del rango del módulo analógico. Para este propósito, STEP 7 proporciona las instrucciones NORM\_X y SCALE\_X (Página 302). También se puede utilizar la instrucción CALCULATE (Página 261) para escalar los valores analógicos (Página 42)” (p.127)

Ejemplo: Considere, por ejemplo, una entrada analógica que tiene un rango de intensidad de 0 - 20 mA. El módulo de entradas analógicas devuelve valores en el rango de 0 a 27648 para los valores medidos. Para este ejemplo, imagine que está empleando este valor de entrada analógica para medir un rango de temperatura entre 50 °C y 100 °C. Unos cuantos valores de muestreo tendrían el significado siguiente:

Valor de entrada analógica	Unidades físicas
0	50 °C
6192	62,5 °C
12384	75 °C
18576	87,5 °C
27648	100 °C

*Figura 13. Ejemplo: procesamiento de valores analógicos:*

*Fuente: manual del controlador programable S7-1200, p127.*

## **Configuración de dispositivos**

El capítulo 6 habla sobre la configuración de dispositivos en el PLC y abarca los siguientes puntos:

- Insertar una CPU (p.157)
- Cargar la configuración de una CPU conectada (pp.160-161)
- Agregar módulos a la configuración (p.162)
- Control de configuración (p.163)
- Ventajas y aplicaciones del control de configuración (p.163)
- Configuración de la instalación central y módulos opcionales (p.163)
- Ejemplo de control de configuración (pp.171,174)
- Cambiar un dispositivo (p.175)
- Configurar el funcionamiento de la CPU (p.175)
- Vista general (p.175)
- Configuración de tiempos de filtro de entradas digitales (pp.177-178)
- Capturar impulsos (p.179)
- Configurar el soporte multilingüe (pp.180-181)
- Configurar los parámetros de los módulos (pp.182-183)
- Configurar la CPU para la comunicación (pp.184-185)
- Sincronización horaria (pp.186,188)

El capítulo 6 del manual antes mencionado, será utilizado para el desarrollo de este proyecto en la correcta configuración del sistema de PLC del banco de pruebas.

A continuación, se hará mención del resto de los capítulos del manual del sistema de SIEMENS. Los cuales se tendrán en consideración para el desarrollo del proyecto en los momentos que se requiera, para la implementación de las mejoras pertinentes en el banco de pruebas.

- Capítulo 7 Principios básicos de programación (pp.189-230)
- Capítulo 8 Instrucciones básicas. (pp.231,340)
- Capítulo 9 Instrucciones avanzadas. (pp.341,564)
- Capítulo 10 Instrucciones tecnológicas. (pp.565,816)
- Capítulo 11 Comunicación. (pp.817,1018)
- Capítulo 12 Servidor web. (pp.1019,1108)
- Capítulo 13 Procesador de comunicaciones y Modbus TCP. (pp.1109,1327)
- Capítulo 14 Comunicación Tele Service (correo electrónico SMTP). (p.1333)
- Capítulo 15 Herramientas online y diagnóstico. (pp.1341,1388)
- Capítulo A Datos técnicos. (pp.1391,1596)
- Capítulo B Calcular la corriente necesaria. (pp.1597,1600)
- Capítulo C Información de pedido. (pp.1601,1612)
- Capítulo D Cambio de dispositivo y compatibilidad de los repuestos (pp.1613,1623)

De los capítulos antes mencionados se destaca del 8 algunas instrucciones básicas importantes para este proyecto mencionadas a continuación.

### **Temporizadores.**

Según SIEMENS en el manual del sistema (2018): Las instrucciones con temporizadores se utilizan para crear retardos programados. El número de temporizadores que pueden utilizarse en el programa de usuario está limitado solo por la cantidad de memoria disponible en la CPU. Cada temporizador utiliza una estructura de DB del tipo de datos IEC\_Timer de 16 bytes para guardar la información del temporizador especificada encima de la instrucción de cuadro o bobina. STEP 7 crea el DB automáticamente al insertar la instrucción. (p.240)

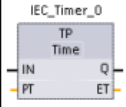
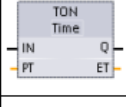

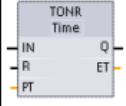
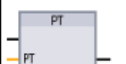
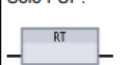
Cuadros KOP / FUP	Bobinas KOP	SCL	Descripción
 <p>IEC_Timer_0 TP Time IN Q PT ET</p>	<p>TP_DB —{TP}— "PRESET_Tag"</p>	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TP (   IN:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>	El temporizador TP genera un impulso con una duración predeterminada.
 <p>IEC_Timer_1 TON Time IN Q PT ET</p>	<p>TON_DB —{TON}— "PRESET_Tag"</p>	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TON (   IN:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>	El temporizador TON pone la salida Q a ON tras un tiempo de retardo predeterminado.
 <p>IEC_Timer_2 TOF Time IN Q PT ET</p>	<p>TOF_DB —{TOF}— "PRESET_Tag"</p>	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TOF (   IN:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>	El temporizador TOF pone la salida Q a OFF tras un tiempo de retardo predeterminado.
 <p>IEC_Timer_3 TONR Time IN Q R ET PT</p>	<p>TONR_DB —{TONR}— "PRESET_Tag"</p>	<pre>"IEC_Timer_0_DB".TONR (   IN:=_bool_in_,   R:=_bool_in_,   PT:=_time_in_,   Q=&gt;_bool_out_,   ET=&gt;_time_out_);</pre>	El temporizador TONR pone la salida Q a ON tras un tiempo de retardo predeterminado. El tiempo transcurrido se acumula a lo largo de varios periodos de temporización hasta que la entrada R inicializa el tiempo transcurrido.
<p>Solo FUP:</p>  <p>PT</p>	<p>TON_DB —{PT}— "PRESET_Tag"</p>	<pre>PRESET_TIMER (   PT:=_time_in_,   TIMER:=_iec_timer_in_);</pre>	La bobina PT (Cargar temporizador) carga un nuevo valor de tiempo PRESET (predeterminado) en el IEC_Timer especificado.
<p>Solo FUP:</p>  <p>RT</p>	<p>TON_DB —{RT}—</p>	<pre>RESET_TIMER (   _iec_timer_in_);</pre>	La bobina RT (Inicializar temporizador) inicializa el IEC_Timer especificado.

Figura 14. Instrucciones con temporizadores

Fuente: SIEMENS manual del sistema (2018)

- STEP 7 crea el DB automáticamente al insertar la instrucción.
- En los ejemplos SCL, "IEC\_Timer\_0\_DB" es el nombre del DB de instancia

## Contadores.

Según SIEMENS en el manual del sistema (2018): Las instrucciones con contadores se utilizan para contar eventos del programa internos y eventos del proceso externos. Todo contador utiliza una estructura almacenada en un bloque de datos para conservar sus datos (p.249).

KOP / FUP	SCL	Descripción
<p>"Counter name"</p>	<pre>"IEC_Counter_0_DB".CTU (   CU:=_bool_in,   R:=_bool_in,   PV:=_in,   Q=&gt;_bool_out,   CV=&gt;_out);</pre>	<p>Las instrucciones con contadores se utilizan para contar eventos del programa internos y eventos del proceso externos. Todo contador utiliza una estructura almacenada en un bloque de datos para conservar sus datos. El bloque de datos se asigna al colocar la instrucción de contaje en el editor.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• CTU es un contador ascendente</li> <li>• CTD es un contador descendente</li> </ul>
<p>"Counter name"</p>	<pre>"IEC_Counter_0_DB".CTD (   CD:=_bool_in,   LD:=_bool_in,   PV:=_in,   Q=&gt;_bool_out,   CV=&gt;_out);</pre>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CTUD es un contador ascendente/descendente</li> </ul>
<p>"Counter name"</p>	<pre>"IEC_Counter_0_DB".CTUD D(   CU:=_bool_in,   CD:=_bool_in,   R:=_bool_in,   LD:=_bool_in,   PV:=_in,   QU=&gt;_bool_out,   QD=&gt;_bool_out,   CV=&gt;_out);</pre>	

Figura 15. Instrucciones con contadores

Fuente: SIEMENS manual del sistema (2018)

Se utilizará el *manual de sistema de Controlador programable S7-1200* y el libro de SIEMENS, *STEP 7 una manera fácil de programar un PLC SIEMENS*, como aprendizaje para lograr hacer las mejoras pertinentes en este proyecto, de estos se puede destacar las siguientes configuraciones.

### Módulos de comunicación

Según SIEMENS España 2013 Desde la producción hasta la logística, los módulos de comunicación permiten conectar los sistemas SIMATIC Ident a controladores SIMATIC, sistemas basados en PC o a controladores de otros proveedores.

### Módulo de comunicación 6ES7241-1AH32-0XB0

SIMATIC S7-1200, Módulo de comunicación CM 1241, RS-232, Sub-D 9 polos (macho)



*Figura 16. Módulo de comunicación 6ES7241-1AH32-0XB0*

*Fuente: <https://mall.industry.SIEMENS.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7241-1AH32-0XB0>*

Según el manual del producto se puede encontrar la siguiente ficha técnica que permite comprender de mejor manera el alcance de este módulo.

Información general	
Designación del tipo de producto	CM 1241 RS 232
Tensión de alimentación	
Valor nominal (DC)	24 V
Rango admisible, límite inferior (DC)	20,4 V
Rango admisible, límite superior (DC)	28,8 V
Intensidad de entrada	
Consumo, máx.	200 mA; De bus de fondo 5 V DC
Pérdidas	
Pérdidas, típ.	1,1 W
Interfaces	
Interfaces/tipo de bus	RS 232C (V.24)
Nº de interfaces	1
Acoplamiento punto a punto	
● Longitud del cable, máx.	10 m
Drivers de protocolo integrados	
— Freeport	Sí
— ASCII	Sí; disponible como función de librería
— RTU maestro Modbus	Sí
— RTU esclavos Modbus	Sí
Protocolos	
Protocolos integrados	
Freeport	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
3964 (R)	
— Longitud de telegrama, máx.	1 kbyte
— Bits por carácter	7 u 8
— Número de bits de parada	1 (estándar), 2
— Paridad	Sin paridad (estándar); par, impar, marca (bit de paridad siempre a 1); espacio (bit de paridad siempre a 0)
RTU maestro Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
— N.º de esclavos, máx.	247; 1 a 247, máximo 32 dispositivos por cada segmento de red MODBUS, se precisan repetidores adicionales para ampliar la red a la máxima configuración
RTU esclavos Modbus	
— Área de direcciones	1 a 49 999 (direccionamiento estándar de Modbus)
6ES72411AH320XB0	
Página 1/2	
1/9/2023	
Sujeto a cambios © Copyright Siemens	

Figura 17. Ficha técnica del producto,

Fuente: <https://mall.industry.SIEMENS.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7241-1AH32-0XB0>


Alarmas/diagnósticos/información de estado	
Función de diagnóstico	Sí
LED señalizador de diagnóstico	
• para el estado de las salidas	Sí
Grado de protección y clase de protección	
Grado de protección IP	IP20
Normas, homologaciones, certificados	
Marcado CE	Sí
Homologación CSA	Sí
Homologación UL	Sí
cULus	Sí
Homologación FM	Sí
RCM (anteriormente C-TICK)	Sí
Homologación KC	Sí
Homologaciones navales	Sí
Condiciones ambientales	
Caída libre	
• Altura de caída, máx.	0,3 m; Cinco veces, en embalaje de envío
Temperatura ambiente en servicio	
• mín.	-20 °C
• máx.	60 °C
• Posición de montaje horizontal, mín.	-20 °C
• Posición de montaje horizontal, máx.	60 °C
• Posición de montaje vertical, mín.	-20 °C
• Posición de montaje vertical, máx.	50 °C
• Cambio permitido de temperatura	5°C a 55°C, 3°C/minuto
Temperatura ambiente en almacenaje/transporte	
• mín.	-40 °C
• máx.	70 °C
Presión atmosférica según IEC 60068-2-13	
• En servicio mín.	795 hPa
• En servicio máx.	1 080 hPa
• Almacenamiento/transporte, mín.	660 hPa
• Almacenamiento/transporte, máx.	1 080 hPa
Humedad relativa del aire	
• Funcionamiento a 25 °C sin condensación, máx.	95 %
Dimensiones	
Ancho	30 mm
Altura	100 mm
Profundidad	75 mm
Pesos	
Peso, aprox.	150 g
Última modificación:	27/8/2023 

Figura 18. Ficha técnica del producto,

Fuente: <https://mall.industry.SIEMENS.com/mall/es/es/Catalog/Product/6ES7241-1AH32-0XB0>

## **INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)**

Se define el significado según un artículo publicado por SIMAC21(2021): “HMI es el acrónimo de Human Machine Interface (interfaz humano-máquina). La definición de una interfaz humano-máquina es la de una interfaz de usuario o un panel de control que combina software y hardware para ayudar al operario a comunicarse entre sistemas y máquinas”.

“Aunque el término puede aplicarse técnicamente a cualquier pantalla que permita a un usuario interactuar con un dispositivo, la pantalla HMI se utiliza más comúnmente en el contexto de un proceso industrial”.

“Las pantallas HMI utilizadas en el contexto industrial son en su mayoría pantallas o pantallas táctiles que conectan a los usuarios con las máquinas, los sistemas o los dispositivos”.

“Los operarios de las fábricas utilizan los paneles de operador HMI para controlar y automatizar la maquinaria, así como sus líneas de producción”.

### **Paneles SIMATIC HMI Basic.**

Según SIEMENS en el manual del sistema (2018): Los SIMATIC HMI Basic Panels incorporan pantalla táctil para el control básico por parte del operador y tareas de control. Todos los paneles ofrecen el grado de protección IP65 y certificación CE, UL, cULus y NEMA 4x.

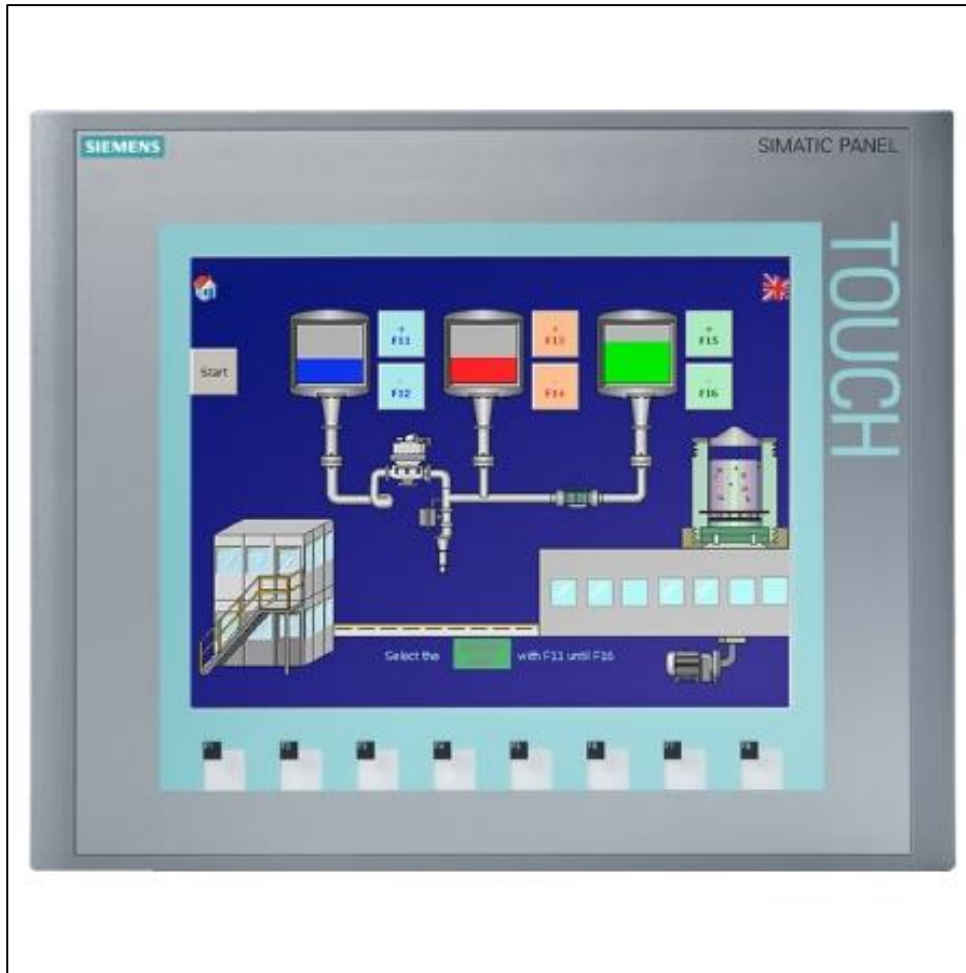


Figura 19. Panel HMI SIMATIC.

Fuente: [https://masvoltaje.com/1963-thickbox\\_default/simatic-ctp1000-basic-color-dp-display-104-tft-256-colores-interfaz-ethernet.jpg](https://masvoltaje.com/1963-thickbox_default/simatic-ctp1000-basic-color-dp-display-104-tft-256-colores-interfaz-ethernet.jpg)

Los paneles HMI Basic disponibles se describen a continuación:

- KTP400 Basic: pantalla táctil de 4 pulgadas con 4 teclas configurables, resolución de 480 x 272 y 800 variables
- KTP700 Basic: pantalla táctil de 7 pulgadas con 8 teclas configurables, resolución de 800 x 480 y 800 variables
- KTP700 Basic DP: pantalla táctil de 7 pulgadas con 8 teclas configurables, resolución de 800 x 480 y 800 variables

- KTP900 Basic: pantalla táctil de 9 pulgadas con 8 teclas configurables, resolución de 800 x 480 y 800 variables
- KTP1200 Basic: pantalla táctil de 12 pulgadas con 10 teclas configurables, resolución de 800 x 480 y 800 variables
- KTP 1200 Basic DP: pantalla táctil de 12 pulgadas con 10 teclas configurables, resolución de 800 x 400 y 800 variables  
(p.33)

## **TIA PORTAL SIEMENS**

Según SIEMENS 2016 El Portal de Automatización Totalmente Integrado (TIA Portal) permite un acceso completo a toda la automatización digitalizada, desde la planificación digital y la ingeniería integrada hasta el funcionamiento transparente. Como parte de Digital Enterprise Software Suite, se une a PLM y MES completando la oferta integral de SIEMENS para empresas en el camino hacia la Industria 4.0, convirtiéndolo en el acceso perfecto a la automatización en la Empresa Digital.

### **Software de programación STEP 7**

Según SIEMENS en el manual del sistema (2018): STEP 7 ofrece un entorno confortable que permite desarrollar, editar y observar la lógica del programa necesaria para controlar la aplicación, incluyendo herramientas para gestionar y configurar todos los dispositivos del proyecto, tales como controladores y dispositivos HMI. Para poder encontrar la información necesaria, STEP 7 ofrece un completo sistema de ayuda en pantalla.

STEP 7 proporciona lenguajes de programación estándar, que permiten desarrollar de forma cómoda y eficiente el programa de control.

- KOP (esquema de contactos) (Página 203) es un lenguaje de programación gráfico. Su representación es similar a los esquemas de circuitos.
- FUP (diagrama de funciones) (Página 204) es un lenguaje de programación que se basa en los símbolos lógicos gráficos empleados en el álgebra booleana.

- SCL (Structured Control Language) (Página 205) es un lenguaje de programación de alto nivel basado en texto.

Al crear un bloque lógico, se debe seleccionar el lenguaje de programación que empleará dicho bloque. El programa de usuario puede emplear bloques lógicos creados con cualquiera de los lenguajes de programación (p.37).

A continuación, se mencionan algunos procesos para el uso del programa que menciona el manual y la página donde pueden encontrarlos.

- Requisitos del sistema (p.38)
- Diferentes vistas que facilitan el trabajo (p.39)
- Herramientas fáciles de utilizar (p.40)
- introducir instrucciones en el programa de usuario (p.40)
- Acceder a instrucciones desde la barra de herramientas "Favoritos"(p.41)
- Crear una ecuación compleja con una instrucción sencilla (p.42)
- Agregar entradas o salidas a una instrucción KOP o FUP (p.44)
- Instrucciones ampliables (p.44)
- Seleccionar la versión de una instrucción (p.45)
- Modificar la apariencia y configuración de STEP 7 (p.45)
- Arrastrar y soltar elementos entre los distintos editores (p.46)
- Cambiar el estado operativo de la CPU (p.47)
- Modificar el tipo de llamada de un DB (p.48)
- Desconectar temporalmente dispositivos de una red (p.49)
- Desconexión virtual de dispositivos desde la configuración (p.50)
- Compatibilidad con versiones anteriores (p.51)

Los puntos antes mencionados del manual son de importancia en este proyecto para el uso adecuado del sistema de programación STEP7 de SIEMENS, en las mejoras que se buscan implementar en el banco de pruebas de medidores.

## **AGUA POTABLE.**

Según la organización mundial de la salud (2022): El agua salubre y fácilmente accesible es importante para la salud pública, tanto si se utiliza para beber, para uso doméstico, para producir alimentos o para fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión de los recursos hídricos puede impulsar el crecimiento económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza.

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho humano al abastecimiento de agua y al saneamiento. Todas las personas tienen derecho a disponer de forma continuada de agua suficiente, salubre, físicamente accesible, asequible y de una calidad aceptable, para uso personal y doméstico.

### **Medidor de agua potable.**

Medidor de agua potable según lo establecido en la norma INTE/ISO 4064:2015: “instrumento destinado a medir continuamente, registrar y mostrar el volumen de agua que pasa a través de su transductor de medición dentro de las condiciones de funcionamiento” (p.4).



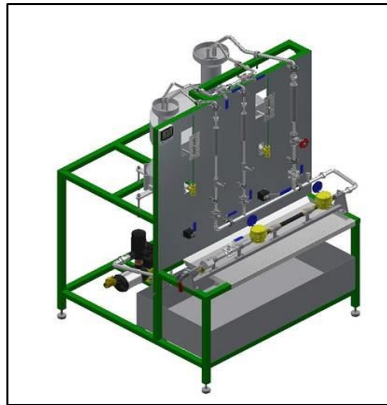
*Figura 20. Medidor de agua potable.*

*Fuente: <https://asocieperu.com/producto/wm2-series-dwyer-medidor-de-agua-multichorro/>*

### **Banco de pruebas de medidores de agua potable.**

El banco de pruebas se encarga de mantener en buen estado el parque de medidores, ya que es el regulador, controlador, verificador del funcionamiento y columna vertebral en cuanto a la medición de consumo y facturación del recurso hídrico del país.

Tomando la descripción de un modelo de banco de pruebas del fabricante **IBPCal** (Ingeniería Bancos de Prueba y Calibraciones SA) el banco de pruebas **Modelo Q3** es un sistema integral diseñado y construido para la realización de pruebas de verificación de medidores para agua tamaño DN15 (1/2”), que son los medidores más comunes en instalaciones residenciales de agua potable, el sistema es ideal para su utilización en laboratorios de medidores de Organismos Operadores de Agua Potable pequeños y medianos, así como en empresas privadas acreditadas como Unidades de Verificación de medidores de agua.



*Figura 21. Banco de medidores.*

*Fuente: <https://www.ibpcal.com/es/modelo-q3>*

En estos bancos de prueba se hacen pasar caudales de agua determinados, con los que se puede conocer el error de medición de los medidores en prueba, estos son Q3, Q2 y Q1, estos dependerán de la clase metrológica de los medidores a ensayar, la selección de los caudales se realiza mediante la fórmula que indica la norma INTE ISO 4064-1 y expresa lo siguiente:

- $Q1 = Q3/R$
- $Q2 = Q1 * 1.6$

- $Q3 = QN$

Donde:

- Q3 es el caudal nominal de trabajo y lo indica el fabricante en la caratula del hidrómetro.
- Q2 es el caudal transitorio o intermedio.
- Q1 es el caudal mínimo de trabajo.
- R es la clase metrológica y viene indicada por el fabricante en la caratula del hidrómetro.

Adicionalmente existen 2 caudales que no se utilizan en las pruebas diarias del laboratorio que son QAR y Q4, estos solo se utilizan en pruebas especiales.

- QAR es el caudal de arranque, es caudal muy pequeño con el que determina a que caudal comienza a contabilizar el agua un medidor.
- Q4 es un caudal que depende de la clase metrológica y el caudal nominal indicado en la caratula del medidor, y este es un factor de seguridad que indica el máximo caudal que soporta el medidor sin verse afectado su funcionamiento.

### **Válvulas de agua potable.**

Uno de los elementos clave en las instalaciones de fontanería son las **válvulas de agua potable**. Fabricadas en metal, aleaciones metálicas o polímeros, se emplean para diversas funciones, como por ejemplo abrir o cerrar el paso del agua por una conducción, una acción imprescindible para la sustitución de una tubería o para su reparación. A continuación, se darán a conocer los diversos tipos de llaves de paso de agua potable para instalaciones de edificios que existen, además de en qué es necesario poner la atención cuando se debe elegir una.

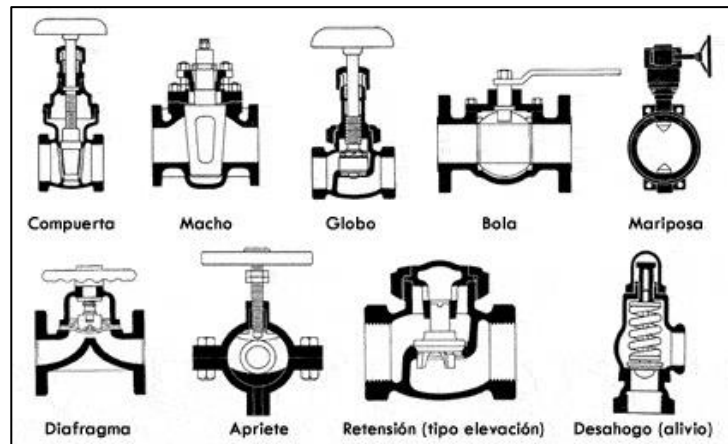


Figura 22. Tipos de válvulas.

Fuente: <http://guillermobarreira.blogspot.com/p/valvulas.html>

Para agua potable, los tipos de válvulas que se emplean son las de bola o esfera, las de compuerta y las de mariposa (obturador). A continuación, se va a conocerlas en más detalle:

**Válvula de bola o esfera.** Este tipo de llaves de paso son las más utilizadas en el ámbito de las edificaciones residenciales. Pueden ser de dos o tres vías y cuentan con un cierre esférico giratorio y una bola en su interior con un lateral perforado. Cuando se gira en una dirección, esa incisión se alinea con el paso del agua, mientras que, cuando se gira en la opuesta, la llave se cierra y el orificio permanece en sentido manera perpendicular a la entrada y a la salida del agua, lo que impide que fluya.



Figura 23. Válvula de bola.

Fuente: <https://www.tuandco.com/valvula-esfera-tajo-2000-hembra-hembra-arco>

**Válvula de compuerta.** Esta llave de paso de agua potable no se utiliza para la regulación o estrangulamiento del líquido y tiene su mayor utilización con fluidos sin interrupción y limpios, como al agua potable. Permite la circulación del fluido alzando una compuerta o cuchilla redonda o rectangular. De funcionamiento sencillo y bajo coste de instalación, en este tipo de válvulas la compuerta se ajusta al cierre por completo, lo que permite obtener una absoluta estanqueidad e impide que exista la posibilidad de fugas. Siempre debe permanecer abierta o cerrada por completo.



*Figura 24. Válvula de mariposa.*

*Fuente: <https://ve.epaenlinea.com/llave-compuerta-1-2-de-bronce-belt-g.html>*

**Válvula de mariposa.** Esta llave de paso, que destaca por su versatilidad, es útil para detener o regular la circulación del agua potable en una tubería, incrementando o aminorando la sección de paso mediante una placa que gira en un eje. A esta placa se la suele llamar mariposa, de ahí el nombre de la válvula. Para abrirla por completo sólo es necesario ejercer una rotación de 90 grados del disco. La llave de paso de agua potable de mariposa siempre está contenida en el interior de la propia conducción y cuando está abierta por completo presenta una baja pérdida de carga. Debido a la búsqueda del mayor ahorro energético posible, esta última característica ha hecho su introducción y difusión haya ido en aumento.

La principal diferencia que distingue a unos tipos de válvulas para agua potable de otras es cómo cortan el paso del agua. Esto tiene su origen en la forma del obturador. Para hacer la maniobra de apertura y cierre, las válvulas de bola y de mariposa se caracterizan por un cierre rápido. Las de compuerta, sin embargo, normalmente requieren accionar el volante varias veces. Por otro lado, en este último caso el cierre es más lento.

Las **válvulas de bola son las que cuentan con una mayor difusión**, en especial cuando se trata de un uso destinado a diámetros pequeños y medianos, hasta 2 ½. De pulgada, Por otro lado, hay que recordar que existe un tipo de llave de paso para agua potable completamente distinta a las anteriores que se han mencionado, las llamadas válvulas de regulación o válvulas de control. Con ellas es posible regular el caudal.

Aunque cuenta con dispositivos externos independientes, como termómetros o termostatos, cuenta con dos componentes fundamentales; el cuerpo y el actuador. El primero controla el paso del fluido alterando la zona de paso por la que éste circula, mientras que el segundo genera la fuerza requerida para que tenga lugar una alteración en la obertura de la válvula. Para que el control de estos dispositivos sea completo y eficiente, su funcionamiento suele ser automatizado. Las válvulas de regulación se dividen, principalmente, en válvulas limitadoras de caudal y **válvulas limitadoras de presión**. Las primeras se emplean sobre todo para el abastecimiento de aguas, mientras que las segundas se utilizan en edificaciones en un 70% de los casos. ARCO S.L (24 septiembre 2019) tipos de válvulas para agua potable.

### **Medidores de flujo electromagnéticos.**

Los medidores de flujo electromagnéticos son medidores de flujo volumétrico que funcionan en base al principio de la Ley de inducción electromagnética de Faraday. Miden la velocidad del flujo cuando el líquido pasa por el medidor durante un plazo determinado. Los medidores electromagnéticos no son intrusivos y su diseño de tubo de flujo totalmente abierto facilita un flujo desinhibido y reduce la necesidad de mantenimiento gracias a que no tiene partes móviles que puedan desgastarse.



*Figura 25. Medidor de flujo electromagnético.*

*Fuente: <https://engenuity.com/product/magbtu-disp-modb-4-20ma-4infg/>*

### **Beneficios clave de los medidores de flujo electromagnéticos.**

Independientemente de si su meta es mejorar la precisión, disminuir el mantenimiento del sistema o satisfacer las demandas de las condiciones de líquidos desafiantes, los medidores electromagnéticos son una opción líder para que sus aplicaciones obtengan el rendimiento y la precisión que necesitan. Las personas seleccionan los medidores electromagnéticos por las siguientes razones clave:

- Lecturas de precisión de hasta +0.20% del valor medido, un resultado impresionantemente exacto en comparación con algunas contrapartes mecánicas.
- No contiene partes móviles ni obstrucciones de flujo, por lo cual prácticamente se elimina la necesidad de mantenimiento o las caídas de presión.
- Relación de reducción del rango de flujo de hasta 400:1 o mejor, aportando capacidades extensas de rango de flujo.
- Disponible en varios tamaños para que se pueda adaptar a diversos tamaños de tuberías, desde ¼ pulgadas hasta 78 pulgadas.

### **Funcionamiento los medidores de flujo electromagnéticos.**

Cada tubo de medidor electromagnético cuenta con un revestimiento de un material no conductor, como caucho duro, PTFE o algo parecido. Hay dos bobinas electromagnéticas en el exterior del medidor que son alimentadas por CC y están diametralmente opuestas entre sí. Se insertan dos electrodos de medición en el tubo, colocados perpendicularmente en comparación con las bobinas electromagnéticas. Se agrega un tercer electrodo en la parte superior del revestimiento para detectar si la tubería está llena. Este diseño calculado crea un campo magnético a lo largo del diámetro de la tubería debido a que las bobinas están energizadas.

Cuando un fluido conductor (como el agua) fluye por el campo magnético, se induce un voltaje a lo largo de los dos electrodos de medición. La magnitud del voltaje resultante es directamente proporcional a la velocidad promedio del fluido. Posteriormente, el voltaje inducido se amplifica y se procesa digitalmente para causar una señal digital o analógica exacta. Tal señal se puede usar para indicar la tasa de flujo o la totalización del volumen de fluido, o para tener una comunicación o interacción con otro equipo, BADGER METER. (2020, marzo 24). Los pormenores de los medidores de flujo electromagnéticos.

### **Medición de nivel.**

Según Antonio Creus Solé (1997): En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

La utilización de instrumentos electrónicos con microprocesador en la medida de otras variables, tales como la presión y la temperatura, permite añadir «inteligencia» en la medida del nivel, y obtener precisiones de lectura altas, del orden de + 0,2 %, en el inventario de materias primas o finales o en transformación en los tanques del proceso. El transmisor de nivel «inteligente» hace posible la interpretación del nivel real (puede eliminar o compensar la influencia de la espuma en flotación del tanque, en la lectura), la eliminación de las falsas alarmas (tanques con olas en la superficie debido al agitador de paletas en movimiento), y la fácil calibración del aparato en cualquier punto de la línea de transmisión.

El transmisor o varios transmisores pueden conectarse, a través de una conexión RS-232, a un ordenador personal que, con el software adecuado, es capaz de configurar transmisores inteligentes.

Los instrumentos de nivel pueden dividirse en medidores de nivel de líquidos y de sólidos que son dos mediciones claramente diferenciadas y que se estudiarán separadamente por sus distintas peculiaridades y las aplicaciones particulares de las que son objeto.

### **Medidores de nivel de líquido.**

Los medidores de nivel de líquidos trabajan midiendo, bien directamente la altura de líquido sobre una línea de referencia, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento producido en un flotador por el propio líquido contenido en el tanque del proceso, o bien aprovechando características eléctricas del líquido.

Los primeros instrumentos de medida directa se dividen en: sonda, cinta y plomada, nivel de cristal e instrumentos de flotador.

Los aparatos que miden el nivel aprovechando la presión hidrostática se dividen en:

- Medidor manométrico
- Medidor de membrana
- Medidor de tipo burbujeo
- Medidor de presión diferencial de diafragma

El empuje producido por el propio líquido lo aprovecha el medidor de desplazamiento a barra de torsión.

Los instrumentos que utilizan características eléctricas del líquido se clasifican en:

- Medidor resistivo
- Medidor conductivo
- Medidor capacitivo
- Medidor ultrasónico
- Medidor de radiación

- Medidor de láser

### **Medidor capacitivo**

El medidor de capacitivo mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto depende linealmente del nivel del líquido.

En fluidos no conductores se emplea un electrodo normal y la capacidad total del sistema se compone de la del líquido, la del gas superior y la de las conexiones superiores.

En fluidos conductores con una conductividad mínima de 100 microhmios/c.c. el electrodo está aislado usualmente con teflón interviniendo las capacidades adicionales entre el material aislante y el electrodo en la zona del líquido y del gas.

El circuito electrónico (puente de capacidades, alimenta el electrodo a una frecuencia elevada, lo cual disminuye la reactancia capacitiva del conjunto y permite aliviar en parte el inconveniente del posible recubrimiento del electrodo por el producto.

El sistema es sencillo y apto para muchas clases de líquidos. Sin embargo, hay que señalar que, en los fluidos conductores, los sólidos o líquidos conductores que se encuentran en suspensión o emulsión, y las burbujas de aire o de vapor existentes, aumentan y disminuyen respectivamente la constante dieléctrica del fluido dando lugar a un error máximo de 3 % por cada tanto por ciento de desplazamiento volumétrico. Por otro lado, al bajar el nivel, la porción aislante del electrodo puede quedar recubierta de líquido y la capacidad adicional que ello representa da lugar a un error considerable.

La precisión de los transductores de capacidad es de  $\pm 1\%$ .

Se caracterizan por no tener partes móviles, son ligeros, presentan una buena resistencia a la corrosión y son de fácil limpieza. Su campo de medida es prácticamente ilimitado y pueden emplearse en la medida de nivel de interfases. Tienen el inconveniente de que la temperatura puede afectar las constantes dieléctricas (0,1% de aumento de la constante dieléctrica/°C) y de que los posibles contaminantes contenidos en el líquido pueden adherirse al electrodo variando su capacidad y falseando la lectura, en particular en el caso de líquidos conductores. El

funcionamiento del sistema a una frecuencia elevada, o bien la incorporación de un circuito detector de fase, compensan en parte este inconveniente.

### **BÁSCULAS O BALANZAS.**

Según la Real Academia Española una báscula es: “aparato que sirve para medir pesos, generalmente grandes”.



*Figura 26. Báscula.*

*Fuente: <https://balanzaslima.com/balanza-en-piura/>.*

Según PROCAME. (s/f). MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTOS DE LA MAGNITUD MASA: pesar significa comparar, directa o indirectamente, la masa desconocida de un cuerpo con la masa conocida de otro en presencia de la acción de la gravedad sobre ambos cuerpos. En la práctica esta acción se realiza mediante el empleo de los instrumentos de pesar y las pesas. Los primeros instrumentos de pesar contruidos por el hombre fueron balanzas simples de dos brazos iguales. Le siguieron las balanzas romanas y luego las básculas de plataforma, aéreas, de deflexión, resorte y muchos otros tipos de instrumentos mecánicos que fueron perfeccionándose hasta la aparición de las balanzas electromecánicas y electrónicas que conocemos hoy con diferentes tipos de celdas de pesar incorporadas.

## Terminal de pesaje Mettler Toledo ICS435

Según Mettler Toledo, La familia ICS4\_5 se compone de terminales de básculas compactos y flexibles con modelos que permiten realizar operaciones de pesaje, recuento de piezas, totalización y control de peso básicas. Estos terminales de básculas, que ofrecen un amplio abanico de opciones de conectividad, no solo se adaptan al espacio que tenga disponible, sino que también se integran en su entorno. Las interfaces intuitivas contribuyen a garantizar que el procesamiento se lleve a cabo rápidamente y sin errores. Las robustas carcasas de aluminio inyectado garantizan una larga vida útil y facilidad de uso de cara al futuro.



Figura 27. Terminal de pesaje ICS435.

Fuente: [https://www.mt.com/mx/es/home/products/Industrial\\_Weighing\\_Solutions/Terminals-and-Controllers/terminals-bench-floor-scales/basic-bench-floor-applications/ICS4\\_5/ICS435.html](https://www.mt.com/mx/es/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/Terminals-and-Controllers/terminals-bench-floor-scales/basic-bench-floor-applications/ICS4_5/ICS435.html)

Esta terminal de pesaje cuenta con las siguientes características que se pueden encontrar en la ficha técnica del producto en la figura 28.

Especificaciones - ICS435 - Terminal de pesaje	
Carcasa	aluminio fundido bajo presión
Dimensiones	248,5 x 164 x 78 mm / 9.78 x 6.46 x 3.71"
Teclado	teclado de membrana táctil (PET) material resistente al rayado
Pantalla	pantalla gráfica LCD con retroiluminación
Interfaces de datos	estándar: 1 RS232 y 1 interfaz de datos adicional: RS232, RS422/485, dispositivo USB / host, Ethernet, WLAN, digital E/S, 2da balanza digital o analógica
Signal processing	2mV/V
A/D rate (int./ext)	0,26 $\mu$ V/e
Resolución (homologable)	...7.500e, OIML / - 10.000d, NTEP
Resolución	...300,000d
Grado de protección	IP65
Number of attachable platforms	Hasta 1 balanza puede ser conectada (todas las plataformas analógicas & SICS)
Entrada/salida digital	4/4
Conexión de básculas analógicas	impedancia: $\geq 80 \Omega$ (1 x 350 $\Omega$ , 4 x 350 $\Omega$ )

Figura 28. Ficha técnica terminal de pesaje ICS435.

Fuente: [https://www.mt.com/mx/es/home/products/Industrial\\_Weighing\\_Solutions/Terminals-and-Controllers/terminals-bench-floor-scales/basic-bench-floor-applications/ICS4\\_5/ICS435.html#documents](https://www.mt.com/mx/es/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/Terminals-and-Controllers/terminals-bench-floor-scales/basic-bench-floor-applications/ICS4_5/ICS435.html#documents)

## BOMBAS HIDRÁULICAS.

Según Salvador de las Heras, 2011. en su libro Fluidos, Bombas e instalaciones hidráulicas, en el sentido más amplio del término, una bomba hidráulica es una máquina generadora que trabaja con un fluido incompresible en la que se produce una transformación de energía mecánica en hidráulica.

En general, las máquinas de fluidos pueden clasificarse según el sentido de transmisión de la energía entre el fluido y la máquina (bombas frente a turbinas, es decir, generadoras frente a motoras), la compresibilidad del fluido (bombas hidráulicas frente a compresores) o su principio de funcionamiento (por ejemplo, una bomba centrífuga frente a una volumétrica). Según este último criterio, las bombas hidráulicas pueden ser rotodinámicas o turbomáquinas, en las que el intercambio de energía se produce mediante la transferencia de cantidad de movimiento; de desplazamiento positivo o volumétricas; gravimétricas, en las que la energía intercambiada es de tipo potencial, y de otros tipos más singulares, como las capilares, de ariete, etc. (p.121)



Figura 29. Algunos tipos de bombas para agua potable.

Fuente: <https://www.facebook.com/337073960411936/posts/709052019880793/>

### Bombas rotodinámicas

Según Salvador de las Heras, 2011. las bombas rotodinámicas pueden agruparse por diversos conceptos: número y disposición de etapas, posición del eje, tipo de accionamiento, elementos del estator, etc., pero, sin duda, la más característica y la que las define mejor es la dirección del flujo a la salida del rodete. Según este último concepto, las bombas fluidodinámicas se clasifican en:

- Bombas centrífugas o radiales.
- Bombas axiales.
- Bombas de flujo mixto.

Las **bombas centrífugas** son el tipo más corriente de bomba rotodinámica. Se encuentran bombas centrífugas para caudales desde 1 L/min hasta 106 L/min, alturas de algunos metros hasta varias centenas, incluso en configuraciones de una etapa, y potencias de decenas de watts hasta algunos mega watts. El rendimiento de las bombas más grandes puede llegar al 90% y su curva de potencia aumenta con el caudal.

En las **bombas axiales** los vectores velocidad absoluta del fluido a la entrada y la salida del rotor no presentan componente radial (o es mínima). Este tipo de bombas son muy adecuadas cuando hay que elevar un gran caudal a pequeña altura, por ejemplo, en regadíos o en la

manipulación de aguas residuales. Su altura máxima de funcionamiento es de unos 10 metros, aunque pueden alcanzar algunas decenas mediante la combinación en serie de varios escalonamientos. El rendimiento de estas bombas es comparable al de las centrífugas, pero su curva de potencia disminuye con el caudal.

La **bomba de flujo mixto** ocupa una posición intermedia entre la centrífuga y la de flujo axial. La dirección del flujo de fluido a la salida del rotor no es ni radial ni axial, sino que su trayectoria dentro del rotor se aproxima a una hélice cónica. La altura que se consigue con este tipo de bombas puede ser de hasta 25 metros por rodete y su curva de potencia es prácticamente horizontal. La recuperación de la cota de presión se consigue también mediante difusores.

### **Bombas de desplazamiento positivo.**

Según Salvador de las Heras, 2011. Una bomba hidráulica es de desplazamiento positivo o volumétrica cuando impulsa un volumen fijo de fluido por vuelta del elemento motor. El caudal medio total impulsado es el resultado del proceso continuo de impulsión, y se obtiene combinando dicho volumen y las revoluciones del accionamiento. Este caudal, salvo por el efecto de las fugas de fluido, es independiente de la presión de trabajo en condiciones normales de operación (siempre que la bomba no incorpore algún dispositivo de regulación o limitación, o se exceda la potencia del accionamiento).

Estas bombas son idóneas en aquellas aplicaciones en las que se requieran altas presiones (incluso, de cientos de bares) y caudales bajos (velocidades específicas pequeñas). Al ser el caudal desalojado prácticamente independiente de la carga, estas bombas encuentran numerosas aplicaciones industriales, tanto en la dosificación de productos como en dispositivos elevadores, de tracción, etc., o móviles, donde sacan ventaja de su elevada relación potencia-peso. A diferencia de las bombas rotodinámicas, son relativamente insensibles a la viscosidad del fluido; además, algunos modelos pueden trabajar satisfactoriamente con bajas velocidades cubriendo una amplia gama de condiciones de trabajo distintas. (pp.131,168)

## **NORMA INTE/ISO 4064**

Se hará una mención explícita de algunos capítulos y artículos de la normativa que rige las pruebas de ensayo para medidores de agua fría y caliente, de manera que se pueda utilizar como base para el entendimiento de algunos de los términos y parámetros que se deben respetar y se estarán utilizando durante todo el proyecto.

### **Medidores de agua para agua potable fría y agua caliente. Parte 2: Métodos de ensayo.**

Esta parte de la Norma INTE/ISO 4064 | OIML R 49 se aplica a los ensayos de evaluación de tipo y verificación inicial de los medidores de agua fría y de los medidores de agua caliente tal y como se definen en la Norma INTE/ISO 4064-1 | OIML R 49-1:2013. Pueden emitirse Certificados de Conformidad OIML para medidores de agua bajo el alcance del Sistema de Certificación OIML, dado que esta parte de la Norma ISO 4064 | OIML R 49, la Norma INTE/ISO 4064-1 | OIML R 49-1:2013 y la Norma INTE/ISO 4064- 3 | OIML R 49-3:2013 se usan de acuerdo con las reglas de dicho Sistema.

Esta parte de la Norma INTE/ISO 4064 | OIML R 49 expone los detalles del programa de ensayos, principios, equipo y procedimientos a emplear en la evaluación de tipo y verificación inicial de un tipo de medidor.

Las estipulaciones de esta parte de la Norma INTE/ISO 4064 | OIML R 49 son aplicables a los dispositivos auxiliares, si así lo requiere la legislación nacional.

Las estipulaciones incluyen requisitos para ensayar el medidor completo y para ensayar el transductor de medición (incluyendo el sensor de flujo o de volumen) y el calculador (incluyendo el dispositivo indicador) de un medidor de agua como partes separadas.

### **Condiciones de referencia.**

Según la normativa INTE ISO 4064. durante cada ensayo, la temperatura y la humedad relativa no deben variar más de 5°C o 10 % respectivamente, dentro del rango de referencia. Se permite variar las condiciones de referencia fuera de los valores de tolerancia definidos durante el ensayo de funcionamiento si pueden darse evidencias al organismo responsable de la aprobación

de tipo de que el medidor considerado no se ve afectado por la desviación de la condición en cuestión. Los valores reales de la condición excedida, sin embargo, deben medirse y documentarse como parte de la documentación del ensayo de funcionamiento. (p.4)

Durante los ensayos de funcionamiento, deben registrarse todos los valores relevantes, dimensiones y observaciones.

### **Condiciones requeridas para todos los ensayos**

#### **Calidad del agua**

Según la normativa INTE ISO 4064. los ensayos a los medidores de agua deben llevarse a cabo usando agua. El agua debe provenir del suministro público de agua potable o debe cumplir los mismos requisitos.

El agua no debe contener ninguna sustancia que pueda dañar el medidor o afectar negativamente a su funcionamiento. No debe contener burbujas de aire.

Si el agua es reciclada, deben tomarse medidas para evitar que el agua residual en el medidor resulte dañina para los seres humanos.

### **Reglas generales concernientes a la instalación y localización de los ensayos**

#### **Libre de distorsiones**

Según la normativa INTE ISO 4064. los bancos de ensayo deben diseñarse, construirse y usarse de manera que su propio funcionamiento no contribuya significativamente al error del ensayo. Para ello, son necesarios altos niveles de mantenimiento del banco, junto con soportes y conexiones adecuadas, para evitar vibraciones en el medidor, el banco de ensayo y sus accesorios.

Nota nacional: El sello de la junta, es un elemento distorsionador, si es plano y permite la elongación, ya que después del ajuste de los medidores en la mesa de trabajo, el diámetro interno de la sección tiende a reducir, debido la deformación del sello. Produciéndose como consecuencia la reducción del área transversal y la aceleración del medidor de agua y, por tanto, errores positivos en los caudales de ensayo especificados.

El entorno de los bancos de ensayo debe ser tal que se cumplan las condiciones de referencia de los ensayos (véase el capítulo 4).

Durante los ensayos, la presión manométrica en la salida de cada medidor de agua debe ser al menos 0,03 MPa (0,3 bar) y debe ser suficiente para evitar la cavitación.

Debe ser posible llevar a cabo las lecturas de los ensayos rápidamente y fácilmente.

### **Ensayos de grupos de medidores**

Según la normativa INTE ISO 4064, los medidores se ensayan o bien individualmente o en grupos. En el último caso, las características individuales de los medidores deben determinarse con precisión. La presencia de cualquier medidor en el banco de ensayo no debe contribuir significativamente al error del ensayo de cualquier otro medidor.

### **Localización**

De acuerdo con la normativa INTE ISO 4064, el entorno elegido para los ensayos de medidores debe estar de acuerdo con los principios elaborados en la Guía OIML G 13 y debe estar libres de influencias perturbadoras (por ejemplo, temperatura ambiente, vibración).

### **Ensayos con lecturas tomadas con el medidor en reposo**

Según la normativa INTE ISO 4064, este método se conoce normalmente como el método de arranque y paro en reposo.

El flujo se establece mediante la apertura de una válvula, preferiblemente situada aguas abajo del medidor, y se para por el cierre de esta válvula. El medidor se lee cuando el registro está estable.

El tiempo se mide entre el comienzo del movimiento de apertura de la válvula y el final del movimiento de cierre. Mientras que el flujo está comenzando y durante el periodo de funcionamiento al caudal constante especificado, el error (de indicación) del medidor varía como una función de los cambios en el caudal (la curva de error).

Mientras que el flujo se está parando, la combinación de la inercia de las partes en movimiento del medidor y el movimiento rotacional del agua dentro del medidor podría causar la introducción de un error apreciable en ciertos tipos de medidores y para ciertos caudales de ensayo.

No ha sido posible, en estos casos, establecer una ley empírica simple que considere las diferentes condiciones de tal modo que este error sea siempre despreciable.

En caso de duda, se aconseja:

- a) incrementar el volumen y la duración del ensayo;
- b) comparar los resultados con aquellos obtenidos por otro(s) método(s) y en particular el método especificado en el apartado 7.4.2.2.5.3, que elimina las causas de incertidumbre descritas antes.

Para algunos tipos de medidores de agua electrónicos con salida de pulsos que se utilizan para ensayar, la respuesta del medidor a los cambios en el caudal puede ser de tal forma que se emitan pulsos válidos después del cierre de la válvula. En este caso, se deben proporcionar medios para contar estos pulsos adicionales.

Cuando se utilicen pulsos de salida para ensayar medidores, se debe comprobar que el volumen indicado por la cuenta de pulsos corresponda con el volumen mostrado en el dispositivo indicador.

### **Dispositivo patrón calibrado**

#### **Incertidumbre expandida del valor de la medida del volumen real**

La normativa INTE ISO 4064 apartado 7.4.2.2.6.1. cuando se realiza un ensayo, la incertidumbre expandida en la determinación del volumen real pasando a través del medidor no debe superar un 1/5 del error máximo permitido para la evaluación de tipo, y 1/3 del error máximo permitido para la verificación inicial.

NOTA La incertidumbre de la medida del volumen real no incluye una contribución del medidor de agua.

## **Volumen mínimo del dispositivo patrón calibrado**

Basado en la normativa INTE ISO 4064 apartado 7.4.2.2.6.2. el volumen mínimo permitido depende de los requisitos determinados por los efectos del arranque y paro del ensayo (error de cronometraje) y del diseño del dispositivo indicador (valor del intervalo de la escala de verificación).

### **Presión de suministro**

Según la normativa INTE ISO 4064 apartado 7.4.2.2.7.2. la presión de suministro debe mantenerse en un valor constante a lo largo del ensayo en el caudal escogido.

Cuando se ensayan medidores de agua que están designados con un  $Q_3 \leq 16 \text{ m}^3/\text{h}$ , a caudales de ensayo  $\leq 0,1 Q_3$ , la constancia de la presión a la entrada del medidor (o a la entrada del primer medidor de un grupo que se esté ensayando) se alcanza si el banco de ensayo está siendo alimentado a través de una tubería conectada a un depósito con una carga constante. Esto asegura un flujo estable.

Se puede utilizar cualquier otro método conocido de suministro que no cause pulsaciones de presión que excedan las logradas mediante un depósito con una carga constante (por ejemplo, tanque presurizado).

Para el resto de los ensayos, la presión aguas arriba del medidor no debe variar más del 10 %. La máxima incertidumbre ( $k = 2$ ) en la medición de la presión debe ser el 5 % del valor medido.

La incertidumbre estimada debe estar de acuerdo con la Guía ISO/IEC 98-3:2008 con un factor de cobertura,  $k = 2$ .

La presión a la entrada del medidor no debe exceder la presión máxima admisible para el medidor.

### **Caudal**

De acuerdo a la normativa INTE ISO 4064 apartado 7.4.2.2.7.3. el caudal debe permanecer a un valor constante, a lo largo del ensayo, en el valor escogido.

La variación relativa en el caudal durante cada ensayo (no incluye el comienzo y la parada) no debe exceder de:

- $\pm 2,5$  % desde Q1 a Q2 (no inclusive);
- $\pm 5,0$  % desde Q2 (inclusive) a Q4.

El valor del caudal es el volumen real que pasa durante el ensayo dividido por el tiempo.

Esta condición de variación del caudal es aceptable si la variación de la presión relativa (en flujo al aire libre) o la variación relativa de la pérdida de presión (en circuitos cerrados) no superan:

- $\pm 5$  % de Q1 a Q2 (no inclusive);
- $\pm 10$  % de Q2 (inclusive) a Q4.

### **Resolución del dispositivo indicador**

Según la normativa INTE ISO 4064 apartado 6.7.3.2.3. Las subdivisiones de la escala de verificación deben ser lo suficientemente pequeñas para que el error de resolución del dispositivo indicador no exceda del 0,25 % para medidores de clase de precisión 1, y del 0,5 % para medidores de clase de precisión 2, del volumen correspondiente a 90 minutos al caudal mínimo Q1.

Pueden usarse elementos de verificación adicionales siempre y cuando la incertidumbre de la lectura no sea más grande de 0,25 % del volumen del ensayo para medidores de clase de precisión 1, y de 0,5% del volumen del ensayo para medidores de clase de precisión 2, y que el funcionamiento correcto del registro sea comprobado.

### **Temperatura**

Según la normativa INTE ISO 4064 apartado 7.4.2.2.7.4. durante un ensayo, la temperatura del agua no debe cambiar más de 5°C.

La máxima incertidumbre en la medición de la temperatura no debe exceder 1°C.

## FINANZAS

Las decisiones de inversión son las más importantes en las finanzas corporativas. Piense que son los activos los que tienen capacidad de generar rendimientos; por lo tanto, para incrementar la riqueza de los accionistas, la compañía debe invertir en aquellos activos que sean capaces de crear valor. La inversión en maquinarias, naves industriales, equipos y activos de trabajo requiere de una planificación y una evaluación de las bondades de ésta. Esto es lo que se entiende por “evaluación de proyectos” y en una definición más amplia se refiere al “presupuesto de capital”. El presupuesto de capital es importante porque hace a la locación eficiente de los recursos: para crear valor que se debe invertir en aquellos proyectos cuyo rendimiento superan el costo del capital necesario para llevarlos a cabo.

### El valor neto actual (VAN)

El valor actual neto (VAN) se define como el valor que resulta de la diferencia entre el valor presente de los futuros ingresos netos esperados (son descontados a una tasa “k” que representa el costo de oportunidad del capital) y el desembolso inicial de la inversión (FF<sub>0</sub>). La expresión del valor actual neto es la siguiente:

$$VAN = FF_0 + \frac{FF_1}{(1+k)} + \frac{FF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FF_n + VT}{(1+k)^n}$$

En el último flujo de fondos aparece un término “VT” que en la terminología financiera se lo conoce como “valor terminal”. El valor terminal puede verse como el flujo de fondos que se obtiene si el negocio es liquidado, o el valor de la continuidad si el proyecto sigue en marcha, en cuyo caso suele ser utilizada la fórmula de la perpetuidad para estimarlo. Para calcular el VAN, los flujos de efectivo que genera el proyecto (FF<sub>j</sub>) son descontados previamente con la tasa de interés que representa el costo de oportunidad del capital (k) y luego se resta el desembolso inicial de la inversión. Simbólicamente, también se puede expresar la ecuación del VAN como:

$$VAN = -FF_0 + \frac{\sum_{j=1}^n FF_j}{(1+k)^j}$$

Ejemplo: Suponiendo que la compañía Azzurra está pensando en invertir dinero en una cadena de pizzerías que le requiere una inversión de \$1000 y genera un flujo de fondos neto de \$500 los dos primeros años y \$800 al final de su vida, donde se liquidan las instalaciones y el capital de trabajo (por lo tanto, en el último valor incluimos el valor de realización de los activos neto de impuestos). Si asumimos que el costo de oportunidad del capital es  $k = 10\%$ , el valor actual neto del proyecto sería:

$$VAN = -1000 + \frac{500}{(1 + 0,10)} + \frac{500}{(1 + 0,10)^2} + \frac{800}{(1 + 0,10)^3} = 468,82$$

### **La regla del valor actual neto: si el VAN es positivo...**

La regla de decisión del VAN es muy sencilla: dice que se debe aceptar el proyecto cuando el VAN es positivo y rechazarlo cuando es negativo. En el primer caso, de aceptarse el proyecto se estaría creando riqueza para los accionistas y en el segundo se destruiría, siempre por el valor del VAN.

Si VAN es:

- Mayor a 0, aceptar el proyecto.
- Igual a 0, ¿el proyecto tiene opciones?
- Menor a 0, rechazar el proyecto.

¿Pero qué ocurre cuando el VAN es igual a cero o muy próximo a cero? En los textos este tema suele responderse como que el proyecto está en un punto de “breakeven”. Generalmente tiende a pensarse como una situación donde el inversor podría ser indiferente a realizar el proyecto o rechazarlo, pues su rendimiento iguala el costo de oportunidad. En la práctica, sin embargo, la resolución de esta situación suele incorporar elementos que no aparecen en la regla del VAN. El desarrollo de la teoría de opciones reales en los últimos años nos alerta acerca de las opciones que los proyectos suelen tener “(por ejemplo, postergar la realización del proyecto, ampliar la inversión, reducirla, etc.). Los proyectos con opciones abren oportunidades para la empresa que los lleva adelante. La determinación del valor de estas opciones reales requiere a menudo un complejo y sofisticado cálculo matemático que suele consumir tiempo y esfuerzo. Pero tenga presente que

siempre un proyecto con opciones vale más que otro proyecto idéntico sin ellas. Si el VAN del proyecto es decididamente positivo, usted podría ir adelante y evitarse el análisis de opciones reales. Pero cuando el mismo se encuentra próximo de cero, puede valer la pena y dar un paso más, para averiguar si las opciones contenidas en el proyecto pueden tornar positivo el VAN cuando se incorpora la flexibilidad con que cuenta la gerencia.

### La tasa interna de retorno

La tasa interna de retorno (TIR) se define como aquella tasa que descuenta el valor de los futuros ingresos netos esperados igualándolos con el desembolso inicial de la inversión (matemáticamente, esta definición es equivalente a decir que la TIR es aquella tasa que iguala el VAN a cero).

$$-FF_0 + \frac{FF_1}{(1 + TIR)} + \frac{FF_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FF_n + VT}{(1 + TIR)^n}$$

Que también se puede simbolizar con las expresiones:

$$FF_0 = \sum_{j=1}^n \frac{FF_j}{(1 + TIR)^j}$$

$$-FF_0 + \sum_{j=1}^n \frac{FF_j}{(1 + TIR)^j} = 0$$

En las expresiones anteriores se observa como la TIR es la tasa de interés que satisface la ecuación que iguala el VAN a cero o que iguala el valor presente del flujo de efectivo futuro al desembolso inicial de la inversión. No obstante, estas definiciones “matemáticas” no nos dicen mucho acerca del significado económico que pretende dársele a la TIR. Para poder entender bien que se puede esperar de esta medida de rendimiento, describiremos sus propiedades y que se pretende saber de ella.

La TIR es una medida de rentabilidad periódica de la inversión. A diferencia del VAN, no mide está en términos absolutos, sino que lo hace en términos relativos, indicando en principio, cual es el porcentaje de rentabilidad que obtenemos por cada peso invertido en el proyecto.

El calificativo de “interna” viene dado porque es la tasa “implícita” del proyecto, y constituye la incógnita a resolver, ya que debe calcularse a partir de un procedimiento de prueba por ensayo y error.

### **La regla de decisión de la TIR**

Debido a que la TIR es una medida de rentabilidad relativa de la inversión, la confrontamos con la tasa de interés que representa el costo de oportunidad del capital para saber si un proyecto debe ser elegible o no:

Si TIR es:

- Mayor a  $k$ , aceptar el proyecto.
- Igual a  $k$ , ¿el proyecto tiene opciones?
- Menor a  $k$ , rechazar el proyecto.

También podría definirse como la tasa que iguala el valor presente de los ingresos con el valor presente de los egresos.

En el caso de que la TIR se encuentre muy próxima del costo del capital, el VAN también sería muy próximo de cero, por lo cual nuevamente se aplica lo que dijimos con respecto a dar un paso más e indagar si el proyecto tiene opciones y cuál es su valor. Volviendo ahora al proyecto de la cadena de pizzerías de Azzurra para evaluarlo con la TIR:

$$1000 = \frac{500}{(1 + TIR)} + \frac{500}{(1 + TIR)^2} + \frac{800}{(1 + TIR)^3}$$

La TIR del proyecto es 32,9%, y como supera el costo de oportunidad del capital (10%), también deberíamos aceptarlo.

¿La TIR representa realmente la tasa de rentabilidad periódica que obtenemos en la inversión? ¿Azzurra puede quedarse tranquila y estar segura de qué obtendrá un 32,9%? Para que esto realmente ocurra, deben cumplirse el supuesto implícito de la TIR acerca de la reinversión de fondos.

Según la UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA – UNAD, BOGOTÁ D.C., 27 DE ABRIL DE 2005. El método del CAUE consiste en convertir todos los ingresos y egresos, en una serie uniforme de pagos. Obviamente, si el CAUE es positivo, es porque los ingresos son mayores que los egresos y, por lo tanto, el proyecto puede realizarse; pero, si el CAUE es negativo, es porque los ingresos son menores que los egresos y en consecuencia el proyecto debe ser rechazado.

Sin embargo, el CAUE describe más propiamente los flujos de caja porque la mayoría de las veces la serie uniforme desarrollada representa costos. Recordemos que este término es usado para describir el resultado de un flujo de caja uniforme, la mejor alternativa seleccionada debe ser la misma escogida por valor presente o por cualquier otro método de evaluación cuando las comparaciones son manejadas con propiedad.

#### Período De Estudio Para Alternativas Con Vidas Útiles Diferentes

La principal ventaja de este método sobre los otros es que no requiere que la comparación se lleve a cabo sobre el mínimo común múltiplo de años cuando las alternativas tienen diferentes vidas útiles. Es decir, el CAUE de una alternativa debe calcularse para un ciclo de vida solamente. Porque, como su nombre lo indica, el CAUE es un costo anual equivalente para toda la vida del proyecto. Si el proyecto continuara durante más de un ciclo, el costo anual equivalente para el próximo ciclo y subsiguiente, será exactamente igual que para el primero, suponiendo que todos los flujos de caja fueran los mismos para cada ciclo.

Formula del CAUE.

$$CAUE = VAN \cdot \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### Enfoque de la investigación

Este proyecto se desarrolla bajo un enfoque mixto ya que se requerirá determinar puntos de mejoras en los distintos equipos que incorpora el banco de pruebas a hidrómetros, también se deberá analizar y estudiar el sistema de programación del PLC y la documentación de los equipos involucrados. Realizar el análisis económico del costo beneficio de las mejoras a implementar para determinar la factibilidad del proyecto.

### Análisis Cualitativo

<b>Objetivo</b>	<b>Categoría de Análisis</b>	<b>Subcategoría</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Ítem</b>
Explicar el proceso de calibración en el banco	Ensayos en el banco de pruebas	Porcentaje de error en medición	Proceso que se realiza para determinar el porcentaje de error de lectura en un medidor de agua.	norma INTE/ISO 4064	Establecer el proceso que indica la norma
Identificar los equipos e instrumentos que incorpora el equipo	Equipos e instrumentos	Documentación	Proceso para para determinar todos los equipos e instrumentos presentes.	Inspección y recolección de documentos	Recolectar los documentos de los equipos
Investigar sobre el programa que controla el equipo y su documentación asociada, (manuales, diagramas, planos).	Sistema de programación y manuales	STEP7 y Equipos	Se estudian los documentos, manuales y guías de los equipos y sistemas de programación del PLC y los demás equipos involucrados.	Documentos, manuales y guías de programación de los equipos	Estudio de método de programación

### Análisis Cuantitativo

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
Determinar las mejoras requeridas por el laboratorio en el banco de pruebas y su propuesta de mejora	Mejoras requeridas	Carencias y fallos	Proceso en el que se determinan las carencia y fallas que se requieren solventar en el equipo.	Analizar los fallos y carencias de funcionamiento del equipo de pruebas	Inspección y análisis de funcionamiento del equipo, evaluación de tiempos y repetición de ensayos.
Realizar un análisis económico de costo beneficio de la propuesta de mejora	Inversión de equipos contra costos operativos actuales.	VAN y CAUE	Cálculos de costos de Valor Actual Neto y Costo Anual Uniforme Equivalente.	Elaborar cálculos de VAN, CAUE y gastos actuales por pérdidas de tiempo operativas.	Hoja de cálculo de Excel para el cálculo del VAN y CAUE

## **CAPÍTULO IV. DESARROLLO DEL DISEÑO.**

El objetivo principal del presente trabajo es realizar un análisis de los componentes y equipos presentes en el banco de pruebas semiautomático del laboratorio, con el fin de identificar posibles modificaciones que permitan mejorar el funcionamiento autónomo del equipo y a su vez, disminuir el error humano, con el propósito de dar un servicio de calibración de medidores más eficiente, acertado y justo a los abonados de la institución.

Para este capítulo se describirá de manera detallada qué es y de que se compone un banco de pruebas a medidores de agua potable, el proceso de cómo se realiza una prueba de ensayo, y el análisis de los resultados. Para este proceso se realiza un análisis y estudio de la normativa INTE ISO 4064, y la recomendación OIML R049, estas se complementan entre sí, la INTE ISO 4064 especifica los requisitos metrológicos y técnicos para medidores de agua, de agua potable fría y de agua caliente que pasa a través de un conducto cerrado y totalmente lleno. Estos medidores de agua incorporan dispositivos que indican el volumen acumulado.

Además de medidores de agua basados en principios mecánicos, esta parte de la norma INTE/ ISO 4064 y OIML R049 también aplica a dispositivos que se rigen por principios eléctricos o electrónicos, y aquellos basados en principios mecánicos que incorporan dispositivos electrónicos, usados para medir el volumen de agua potable fría o de agua caliente.

Por otro lado, también se hará un análisis de la situación actual del banco de pruebas, sus componentes, equipos y sistemas asociados, de manera que podamos identificar las carencias y posibles cambios que se puedan implementar para mejorar su funcionamiento, también se realizará una propuesta en la cual se incluirá una mejora en el funcionamiento de los equipos involucrados, la programación del PLC y la pantalla de control HMI, además de un análisis financiero para determinar el costo de implementar dichas mejoras.

## **Banco de pruebas**

Un banco de pruebas para medidores de agua potable se encarga de hacer pasar un volumen a un caudal de agua determinado en un lapso establecido, con unas condiciones de temperatura y presión controladas de manera que se pueda detectar el error de lectura en los medidores para determinar si estos cumplen o no con los errores máximos permitidos (EMP) en la normativa INTE ISO 4064-1 según se definen en los apartados 4.2.2 o 4.2.3.

El banco de pruebas consta de varios equipos y dispositivos que hacen posible su funcionamiento entre estos se encuentran los siguientes:

- Una bancada donde se colocan una cierta cantidad de medidores en línea (uno tras otro).
- Una o más bombas que suministran el flujo de agua requerido.
- Un suministro de agua (tanque de almacenamiento).
- Válvulas de ajuste manual para la regulación del caudal deseado.
- Válvulas de apertura y cierre para permitir o impedir el flujo (pueden ser manuales, neumáticas, hidráulicas o electromagnéticas).
- Medidores de caudal ya sea digitales o analógicos.
- Filtro de partículas para el agua.
- Transmisores de presión.
- Transmisores de temperatura de agua.
- Un tanque de captación del volumen pasado por los medidores en prueba.
- Una balanza para determinar la masa del volumen de agua que ha pasado por los medidores (en bancos de prueba gravimétricos que utilizan la masa del agua para determinar el volumen de esta).
- Panel de control (en los casos de bancos semiautomáticos que cuentan con dispositivos eléctricos y electrónicos de control).

## Pruebas de ensayo

En esta parte se hará un análisis para realizar una guía rápida de cómo realizar una prueba de ensayo, ya que cabe destacar que no existe un manual o guía que indique como realizar paso a paso los ensayos, solo parámetros que se deben respetar según la norma INTE ISO 4064, se puede dividir el ensayo en varias etapas para una mejor explicación, las cuales serán nombradas de la siguiente manera.

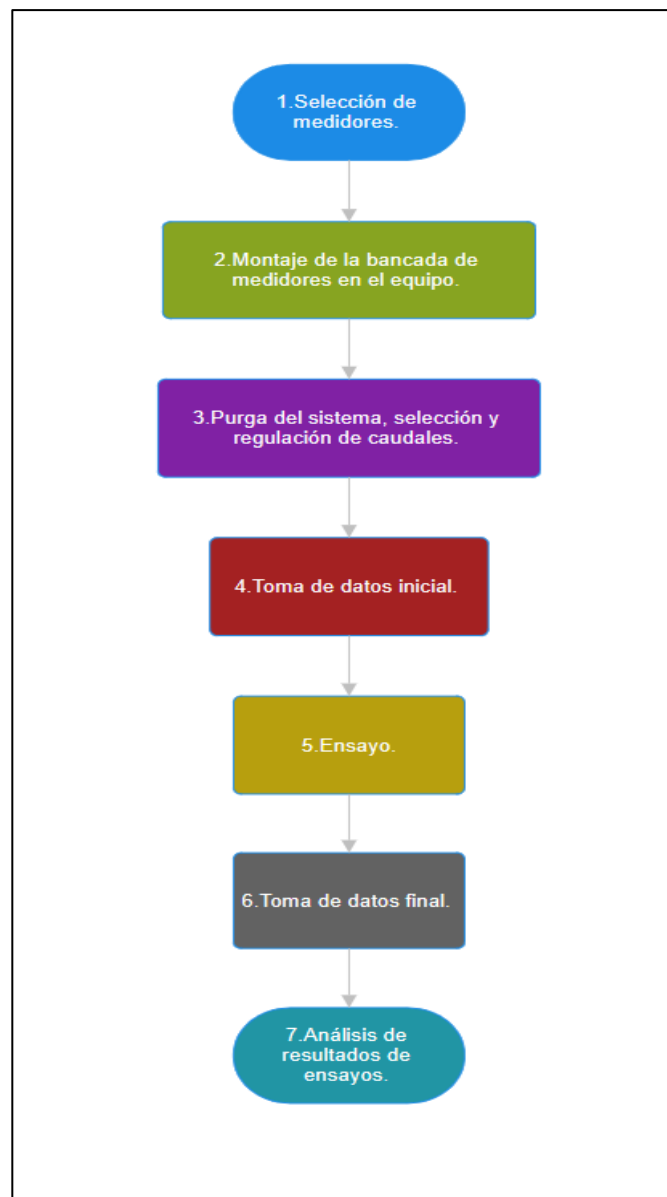


Figura 30. Diagrama de flujo de las pruebas de ensayo

Fuente: Propia

### **Selección de medidores**

Se debe comenzar seleccionando medidores de la misma clase metrológica y mismo diámetro nominal (DN), esto se debe a que dependiendo de estos factores cambia los parámetros a utilizar en el ensayo como caudal y volumen, una vez que se tienen seccionados los medidores se pasa al montaje de la bancada de medidores en el banco de pruebas.

### **Montaje de la bancada de medidores en el equipo.**

Para esta etapa hay que tomar en cuenta varios aspectos importantes, los medidores tienen una dirección de flujo que hay que respetar para que funcione adecuadamente, la misma normalmente está grabada con una flecha en el cuerpo del medidor, además hay que tomar en cuenta que los medidores de tipo velocidad tienen que estar completamente horizontales para que su funcionamiento y precisión sean los adecuados, a diferencia de los de tipo volumétrico que se pueden colocar con inclinación sin afectar su precisión, luego de esto se puede pasar a la purga del sistema.

### **Purga del sistema, selección y regulación de caudales.**

Una vez que los medidores están colocados de manera correcta en el equipo es importante purgar el sistema como lo indica la INTE ISO 4064 parte 2 apartado 7.4.2.2.3 inciso (d), de manera que se elimine por completo el aire que albergan las tuberías, ya que, si no se purga el sistema, este aire puede provocar errores de lectura en los medidores, esto sería una no conformidad con respecto a la norma, también hay que tomar en cuenta que no debe haber fugas de agua en el sistema así lo indica la INTE ISO 4064 parte 2 apartado 7.4.2.2.1.

Luego se regulan mediante las válvulas manuales los caudales ( $Q_3$ ,  $Q_2$ ,  $Q_1$ ,) deseados, estos dependerán de la clase metrológica de los medidores a ensayar, la selección de los caudales se realiza mediante la fórmula que indica la norma INTE ISO 4064-1 y expresa lo siguiente:

- $Q_1 = Q_3/R$
- $Q_2 = Q_1 * 1.6$
- $Q_3 = Q_N$

Donde:

- Q3 es el caudal nominal de trabajo y lo indica el fabricante en la caratula del hidrómetro.
- Q2 es el caudal transitorio o intermedio.
- Q1 es el caudal mínimo de trabajo.
- R es la clase metrológica y viene indicada por el fabricante en la caratula del hidrómetro.

Ejemplo:

Un medidor de la marca Aimeí, modelo MD-K15, con un diámetro nominal 15mm, una clase metrológica R80 y un caudal nominal de 2,5m<sup>3</sup>/h.

Este medidor debe de ser probado con los siguientes caudales:

- $Q3 = 2500m^3/h$
- $Q1 = \frac{2500m^3/h}{80} = 31,2m^3/h$
- $Q2 = 31,2m^3/h * 1,6 = 50m^3/h$

Los caudales tienen un rango permitido de prueba, según la norma INTE ISO 4064 parte 2 apartado 10.6.3 inciso (g) que indica los siguientes rangos.

- Desde Q1 a 1,1\* Q1;
- De Q2 a 1,1\* Q2;
- De 0,9\*Q3 a Q3;

Para determinar el volumen al cual se realiza la prueba la norma INTE ISO 4064-1 apartado 6.7.3.2.3 establece lo siguiente:

- Las subdivisiones de la escala de verificación deben ser lo suficientemente pequeñas para que el error de resolución del dispositivo indicador no exceda del 0,25 % para medidores de clase de precisión 1, y del 0,5 % para medidores de clase de precisión 2, del volumen correspondiente a 90 minutos al caudal mínimo Q1.

- Pueden usarse elementos de verificación adicionales siempre y cuando la incertidumbre de la lectura no sea más grande de 0,25 % del volumen del ensayo para medidores de clase de precisión 1, y de 0,5% del volumen del ensayo para medidores de clase de precisión 2, y que el funcionamiento correcto del registro sea comprobado.

Una vez terminada la etapa de selección y regulación se detiene el flujo para pasar a la fase de toma de datos inicial.

### **Toma de datos inicial**

En esta etapa se puede mencionar el método que indica la norma INTE ISO 4064 parte 2 apartado 7.4.2.2.5.2 Ensayos con lecturas tomadas con el medidor en reposo, este es el método utilizado en el laboratorio de flujo de agua e indica lo siguiente:

Este método se conoce normalmente como el método de arranque y paro en reposo. El flujo se establece mediante la apertura de una válvula, preferiblemente situada aguas abajo del medidor, y se para por el cierre de esta válvula. El medidor se lee cuando el registro está estable.

Por otro lado, en esta etapa se debe tomar los datos de cada uno de los medidores en una matriz de Excel para posteriormente realizar las lecturas, análisis de datos de cada uno y llevar un registro, se toma la marca del medidor, el tipo de clase metrológica, la temperatura y presión de agua.

Se toman también la lectura inicial en metros cúbicos y su lectura en litros utilizando el método de la norma antes mencionado, una vez que se tienen los datos se pasa a iniciar el ensayo.

### **Ensayo**

En esta etapa es donde se da comienzo al ensayo, se inicia el proceso haciendo pasar el caudal previamente ajustado hasta llenar el volumen determinado para dicho caudal ( $Q_x$ ) en el tanque de captación, el tanque que se encuentra sobre la balanza en el caso de los bancos gravimétricos, la cual va a estar indicando en todo momento la masa del volumen actual, en el caso de los bancos con tanque de captación volumétricos se tendrá el indicador de volumen, al llegar al

volumen deseado, se debe detener el ensayo ya sea de manera automática o manual, esto dependiendo de la funcionabilidad del banco de pruebas.

Hay que tomar varias precauciones durante todo el tiempo del ensayo.

1. El caudal no debe variar  $\pm 2,5$  % desde Q1 a Q2 (no inclusive);  $\pm 5,0$  % desde Q2 (inclusive) a Q4. Según lo indica la norma INTE ISO 4064 parte 2 inciso 7.4.2.2.7.3.
2. La presión de suministro debe mantenerse en un valor constante a lo largo del ensayo en el caudal escogido. Así lo indica la norma INTE ISO 4064 parte 2 inciso 7.4.2.2.7.2
3. Durante un ensayo, la temperatura del agua no debe cambiar más de 5 °C. La máxima incertidumbre en la medición de la temperatura no debe exceder 1 °C. Así lo indica la norma INTE ISO 4064 parte 2 inciso 7.4.2.2.7.4

### **Toma de datos final**

En esta etapa se procede a tomar las lecturas de los indicadores en litros en cada uno de los medidores individualmente y se anotan como lectura final en la matriz, en la cual se están llevando los registros del ensayo, para posteriormente realizar el análisis de datos

### **Análisis de resultados de ensayos**

En este punto es donde se determina si los medidores ensayados están dentro o fuera del error máximo permitido, se utiliza la siguiente fórmula que indica la normativa INTE ISO 4064-2 apartado B.3. para determinar el porcentaje de error de lectura en los medidores, utilizando los datos obtenidos de ensayo realizado.

$$\text{Ecuación: } E_{m(i)(i=1,2\dots n)} = \frac{V_i - V_a}{V_a} \times 100\%$$

Donde:

- $E_m(i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ): es el error relativo (de indicación), expresado como un porcentaje, de un medidor de agua completo al caudal  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).
- $V_a$ : es el volumen de referencia (o simulado), durante el ensayo, en m<sup>3</sup>.

- $V_i$ : es el volumen añadido al (o restado del) dispositivo indicador, durante el ensayo, en m<sup>3</sup>.

Los errores máximos permitidos los establece la norma INTE ISO 4064 apartados 4.2.2 y 4.2.3 que indica los siguientes rangos de tolerancia.

#### Medidores de agua con clase de precisión 1

- El EMP para la zona superior del caudal ( $Q_2 \leq Q \leq Q_4$ ) es  $\pm 1 \%$ , para temperaturas desde 0,1°C hasta 30°C, y  $\pm 2 \%$  para temperaturas más altas de 30°C.
- El EMP para la zona inferior del caudal ( $Q_1 \leq Q < Q_2$ ) es  $\pm 3 \%$  independientemente del rango de temperatura.

#### Medidores de agua con clase de precisión 2

- El EMP para la zona superior del caudal ( $Q_2 \leq Q \leq Q_4$ ) es  $\pm 2 \%$ , para temperaturas desde 0,1°C hasta 30°C, y  $\pm 3 \%$  para temperaturas más altas de 30°C.
- El EMP para la zona inferior del caudal ( $Q_1 \leq Q < Q_2$ ) es  $\pm 5 \%$  independientemente del rango de temperatura.

En el laboratorio del AYA se prueban medidores de agua con clase de precisión 2 para simplificar lo que indica la norma se puede describir los rangos de tolerancia de la siguiente manera para un mejor entendimiento.

- Para  $Q_3 \pm 2\%$  de tolerancia en la lectura.
- Para  $Q_2 \pm 2\%$  de tolerancia en la lectura.
- Para  $Q_1 \pm 5\%$  de tolerancia en la lectura.

Si todos los Q se encuentran dentro de los rangos de tolerancia significa que el medidor se encuentra dentro de los parámetros de tolerancia que indica la norma, si alguno o varios Q están fuera de este rango el medidor se encuentra fuera de tolerancia, se procede a desechar, en el caso de que alguno o varios Q se encuentren por encima de  $\pm 20\%$  se desarma el medidor para determinar la causa.

### Situación actual del equipo

Para poder hacer un análisis y realizar una propuesta de mejoras en el banco de pruebas se necesita tener claro la situación actual del equipo, por lo que se documentará el estado actual en que se encuentra operando esta máquina, sus equipos, documentación, el programa que lo controla entre otros, para este apartado se hará el análisis por partes para dar un mejor enfoque y poder determinar de una manera más acertada las carencias o fallos de funcionamiento del equipo, en la Figura 31 se pueden apreciar algunos de los dispositivos que conforman el equipo:



Figura 31. Banco de Pruebas

Fuente: propia

1. Botonera de paro de emergencia.
2. Panel de control de potencia.
3. Bomba centrífuga SAER M/94 1/2 HP 115V
4. Tanque hidroneumático PEARL MNP100V.
5. Tanque Principal 2500L
6. Panel de control del PLC.
7. Panel de HMI y terminal de pesaje.
8. Bancada para 10 hidrómetros DN15.
9. Tanque de captación de sólidos de 100L
10. Ramales y válvulas de regulación de caudales.
11. Tanque de medición de 200L

### **Sistema de suministro de agua**

Este equipo cuenta con un suministro de agua que consta de 4 tanques de almacenamiento, un tanque principal que se encuentra a nivel de piso con una capacidad de 2500 litros, un tanque elevado con una capacidad de 50 litros, un tanque de medición con una capacidad de 200 litros que se encuentra a la salida del circuito de ramales y por último, un tanque de captación de sólidos de 100 litros a la salida del tanque de medición.

También cuenta con un tanque hidroneumático de marca Pearl modelo MNP100V con un volumen nominal de 100 litros, una presión máxima de operación de 10 bar o 150 psi, una precarga de 1.9 bares o 28 psi y una temperatura de operación de hasta 90 grados Celsius.

El tanque principal que se encuentra a nivel de piso se utiliza durante los ensayos con los caudales Q3 que son los caudales nominales, estos vienen siendo los caudales más grandes en los ensayos, el tanque elevado se usa en las pruebas con los caudales Q2 y Q1, estos son caudales mucho más pequeños, los cuales se realizan por gravedad.

El tanque de medición se encuentra sobre una balanza que es la que se utiliza para medir el volumen del agua, mediante la masa de dicha agua que se utilizó durante el ensayo.



*Figura 32. Tanque de mediciones 200L*

*Fuente: propia*

El tanque de captación de sólidos se encarga de recolectar algunas impurezas que logran pasar a través del elemento filtrante que se encuentra a la salida de la bancada de medidores.

El equipo cuenta con 3 bombas, una bomba sumergible de presión constante de 1 HP de fuerza 240V corriente alterna dentro del tanque principal, una bomba centrífuga SAER M/94 1/2 HP 115V corriente alterna que es la que se encarga de suplir el agua al tanque elevado, esta toma el suministro del tanque de agua que se encuentra a nivel de piso y una bomba flotante de ½ HP y

120V corriente alterna dentro del tanque de captación de sólidos que se encarga de cada cierto tiempo recircular el agua al tanque principal.

Las bombas del tanque principal y la de recirculación del tanque elevado tienen un panel de control de potencia en el cual se puede hacer uso de estas, ya sea de forma manual o automática, mediante una maneta se puede accionar las bombas de manera directa o ligar al PLC del equipo para que este las controle, el cual se puede apreciar en la figura 33.



*Figura 33. Panel de potencia de las bombas.*

*Fuente: Propia*

**Nota:** el tanque elevado no tiene un sensor de nivel, solo tiene una línea de retorno por rebalse, por lo que durante los ensayos la bomba centrífuga se mantiene encendida en todo momento para evitar que el nivel del tanque disminuya demasiado, ya que el cambio en la columna de agua provocaría una variación en la presión y el caudal.

### Sistema de válvulas

El equipo trabaja con múltiples válvulas neumáticas de simple y doble efecto, sensores de posición y actuadores neumáticos, todos los antes mencionados de la marca GENEBRE, estos se encargan de direccionar el flujo de agua por los diferentes ramales.

También cuenta con válvulas manuales que son las que se encargan de regular los caudales de prueba durante los ensayos, se tienen dos válvulas de compuerta de una pulgada de diámetro para, Q3 - Q2, y dos válvulas de aguja de 1/2 que son de mayor precisión para el Q1 y para el Q arranque utilizado en algunos ensayos.

### Sistema de suministro de aire comprimido

Este banco se encuentra alimentado de la red de aire comprimido de todo el laboratorio que consta de un compresor de aire PORTER CABLE C7550 el cual cuenta con las siguientes especificaciones:

<b>ESPECIFICACIONES</b>	
Modelo N°	C7550
Potencia de trabajo	6,0
Voltaje / Fases	240V/1 Fase
Requerimientos mínimos por ramal de circuito	30 Amp
Tipo de fusible	Fusible de retardo
Capacidad del tanque en galones	80 ASME, Vertical (302,8 litros)
Presión aproximada de conexión	140 PSIG
Presión aproximada de desconexión	175 PSIG
SCFM @ 100 PSIG	15,6
SCFM @ 175 PSIG	15,2

Figura 34. Ficha técnica compresor PORTER CABLE C7550

Fuente: manual del compresor

**Nota:** este compresor no cuenta con etapas de preparación del aire, eliminación de partículas gruesas, el secado y la preparación fina del aire, esto hace que el aire del que se alimenta el equipo sea aire de baja calidad, el cual está afectando la vida útil de todos los componentes neumáticos del equipo.

### **Bancada de medidores**

El equipo cuenta con una bancada para montar un máximo de 10 medidores en línea, con capacidad de realizar ensayos a medidores de diámetro nominal 15mm, estos son prensados utilizando un cilindro neumático de acción lineal con empaques de hule para generar un sello perfecto entre la bancada y los medidores, de manera que no haya fugas.

### **Sistema de medición de masa de volumen de agua**

El equipo cuenta con una balanza Mettler Toledo que cuenta con un terminal digital de la misma marca modelo ICS435 que indica la masa, este incluye un puerto de comunicación RS232 con el cual se puede establecer conexiones para la extracción de datos.

**Nota:** la conexión entre la balanza y el PLC existe, pero esta se encuentra fuera de funcionamiento, existe un problema de comunicación en alguno de los dos dispositivos por lo que el equipo está operando sin la comunicación de la balanza.

### **Sistema de medición de caudal de agua**

El equipo cuenta con 3 medidores de caudal de tipo electromagnéticos de la marca ENDRESS HAUSER 50H02-57T7/0, los cuales son utilizados como patrón calibrado de referencia, para poder determinar el caudal de prueba al que se desea realizar el ensayo, el cual cuenta con las especificaciones de la figura 35:

Resumen de especificaciones
▪ Error de medición máx. $\pm 0.5\% \pm 0.2\%$ (opcional)
▪ Rango de medición 0...600 m <sup>3</sup> /h
▪ Rango de temperatura del medio -20...+150°C (-4...+302°F)
▪ Máx. presión de proceso PN16...40
▪ Materiales húmedos Liner: PFA Electrodes: 1.4435 (316L); Alloy C22, 2.4602 (UNS N06022); Tantalum; Platinum Process Connections: stainless steel, 1.4404 (F316L); PVDF; PVC Seals: O-ring seal (EPDM, FKM, Kalrez), aseptic molded seal (EPDM, FKM, silicone) Grounding Rings: stainless steel, 1.4435 (316L); Alloy C22, 2.4602 (UNS N06022); tantalum

*Figura 35. Ficha técnica del caudalímetro ENDRESS+HAUSER*

*Fuente: Manual del equipo*

### **Sistema de control automático del equipo**

El banco cuenta con una pantalla HMI SIEMENS KTP100 BASIC PN desde la cual se controlan todas las funciones del equipo, además cuenta con un PLC SIEMENS S7-1200 y adicionalmente cuenta con un módulo de entradas y salidas digitales SIEMENS SM1223, tres módulos de entradas y salidas análogas SIEMENS 1231, un módulo de comunicación CM1241 RS232 y un Switch SIEMENS SCALANCE XB005.

El PLC y los módulos son los que controlan todo el funcionamiento del equipo, a este están conectados todos los demás componentes del banco de pruebas como actuadores de válvulas neumáticas, motores de las bombas, botoneras de accionamiento, caudalímetros, transductores de presión, transductores de temperatura y la balanza de pesaje.

El PLC y los módulos se encuentran dentro de un gabinete que a su vez cuenta con otros dispositivos que permiten el funcionamiento de todos los equipos en conjunto, como una fuente de poder 24V DC, relevadores eléctricos, regletas de conexión, disyuntor electromagnético de protección, fusibles, abanicos de ventilación y todo su cableado.

**Nota:** el panel de control principal donde se encuentran todos los dispositivos antes mencionados no cuenta con un respaldo eléctrico, por lo que, si ocurre un corte en el suministro eléctrico, este sufre una desconexión inmediata con el riesgo de provocar un daño en los componentes eléctricos y electrónicos.

Adicionalmente el PLC equipado en el banco es un SIEMENS S7-1200 de primeras generaciones con una versión de firmware 3.0 la cual está obsoleta, ya que SIEMENS discontinuo este modelo, haciendo un cambio en los componentes internos de los nuevos S7-1200, por lo que el PLC instalado no permite hacer actualizaciones, y a versión 3.0 no permite realizar un respaldo completo de la programación.

### **HMI de control del equipo**

El banco cuenta con una pantalla HMI SIEMENS KTP100 BASIC PN desde la cual mediante una interfaz se puede controlar la apertura y cierre de válvulas, accionamiento de bombas, visualización de caudales, presiones y temperatura del agua de pruebas.

En la figura 36 se puede ver la interfaz antes mencionada en la cual se pueden observar las válvulas que se pueden controlar desde la HMI y la nomenclatura y simbología que se utiliza.

**Nota:** esta interfaz es poco intuitiva con el usuario ya que los botones de accionamiento se encuentran directamente colocados en las figuras del diagrama, por lo que para un usuario ajeno al equipo es difícil determinar dónde están situados algunos de los pulsadores.

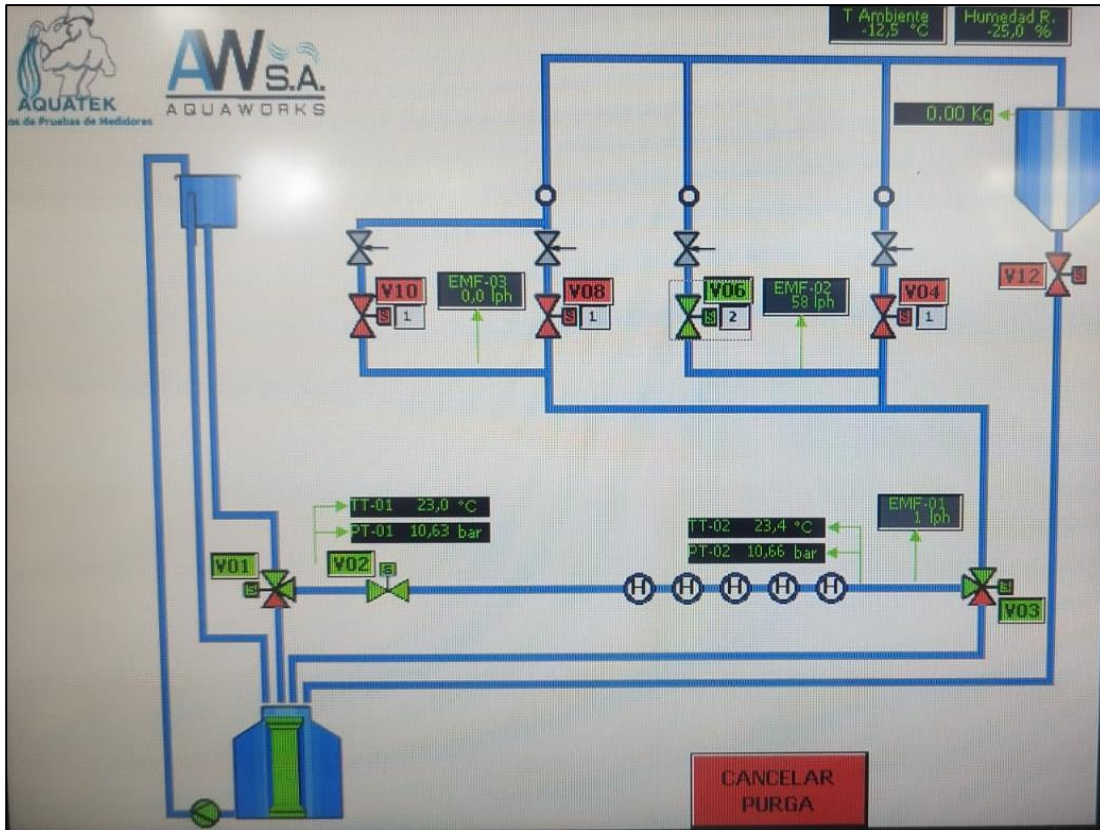


Figura 36. Pantalla HMI de control

Fuente: propia

## Programación del PLC

La programación del PLC fue creada por el fabricante del equipo con el software de programación TIA portal versión 15.1, esta lógica de control cuenta con diferentes comandos de control para el manejo de los diferentes dispositivos involucrados, estos bloques de programación serán descritos a continuación.

Se debe tomar en cuenta para el análisis de la programación de bloques que muchos de estos no tienen una función real en este banco de pruebas, se determinó que el fabricante usa la misma programación en distintos bancos de pruebas, con condiciones distintas, por lo que algunos de los bloques no tienen funciones reales en este.

**Nota:** el banco de pruebas que se analiza en este proyecto no cuenta con una programación que detenga automáticamente el proceso al alcanzar el tiempo deseado de ensayo, por lo que se tiene que realizar manualmente mediante el accionamiento de la válvula del ramal correspondiente, lo que genera poca precisión, ya que si el operario por cualquier circunstancia no detiene el equipo, el volumen pasará por encima del deseado o por debajo en el caso contrario que lo detenga antes de tiempo, este es uno de punto principales a resolver en este proyecto.

## Bloques de programación principal.

### 1. Paros de emergencia:

En las figuras 37 y 38, se puede ver los distintos paros de emergencia, ya sea por alta presión, baja presión o por el accionamiento del botón de paro de emergencia.

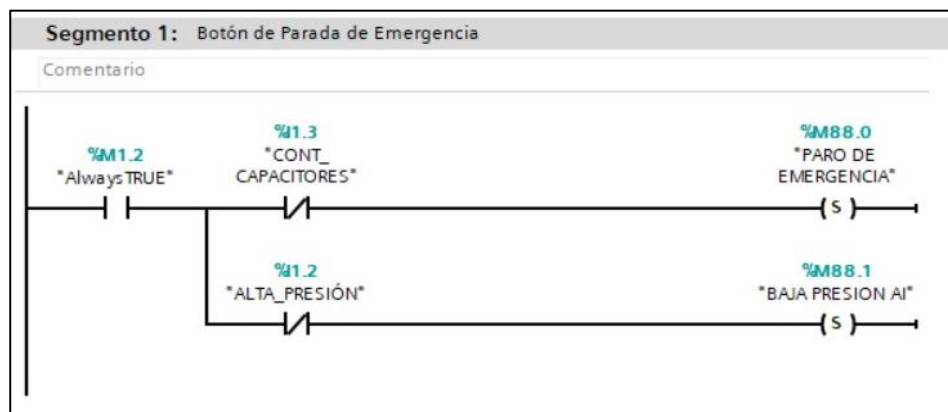


Figura 37. Programación de botón de paro de emergencia

Fuente: programación actual del PLC

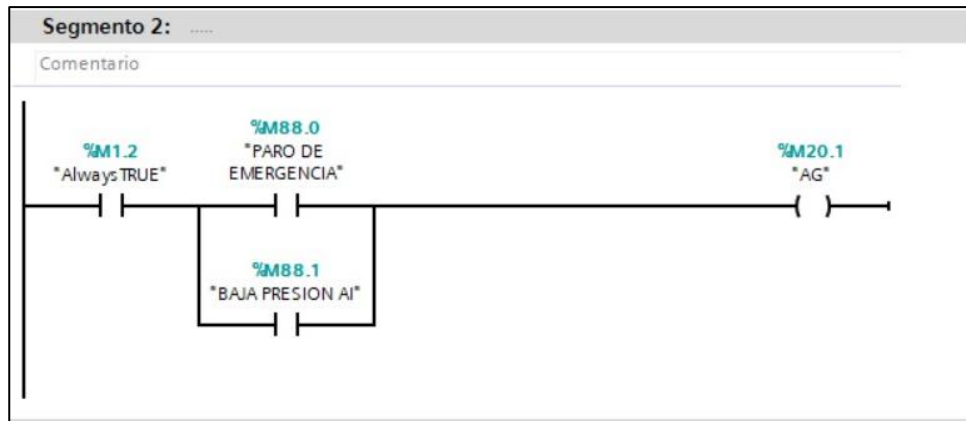


Figura 38. Programación de botón de paro de emergencia

Fuente: programación actual del PLC

## 2. Control de apertura y cierre de la bancada de medidores

En la figura 39 se puede apreciar la lógica de control para la apertura y cierre de la bancada la cual controla físicamente un pistón neumático normalmente abierto, la lógica indica que si el PB-02 y el PB-01 ( Botón de pulso en ingles Push Button) se encuentran activos la bancada se encuentra cerrada, también está la opción que si la V-02 y PB-01 o VN01 están activas la bancada se mantendrá cerrada y por último se tiene un enclave de seguridad que indica que si Bancada (VN01) está cerrada y la presión es mayor a 5 bares, esta no podrá ser abierta.

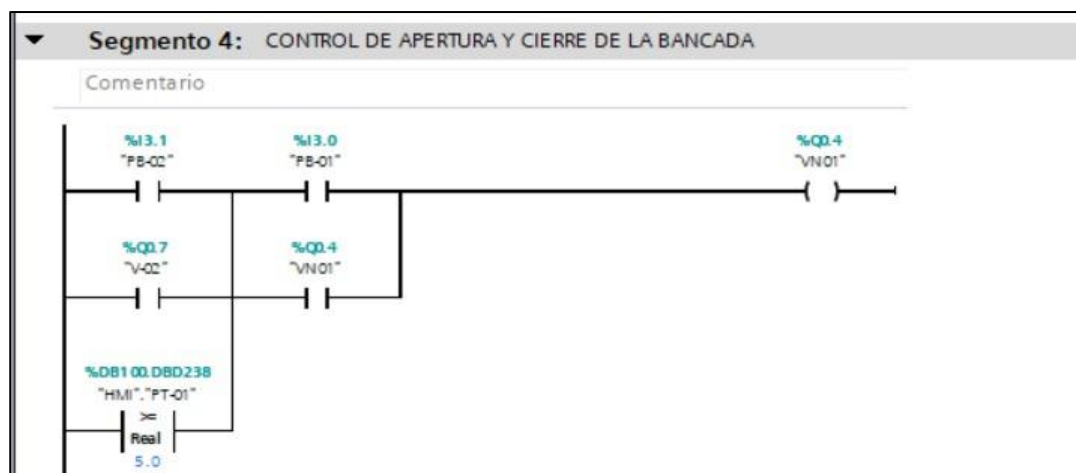


Figura 39. Programación de apertura y cierre de la bancada

Fuente: programación actual del PLC

### 3. Control de bomba centrífuga.

En la figura 40 se puede notar la lógica de control para el accionamiento de la bomba centrífuga. Esta es la que permite el llenado del tanque elevado.

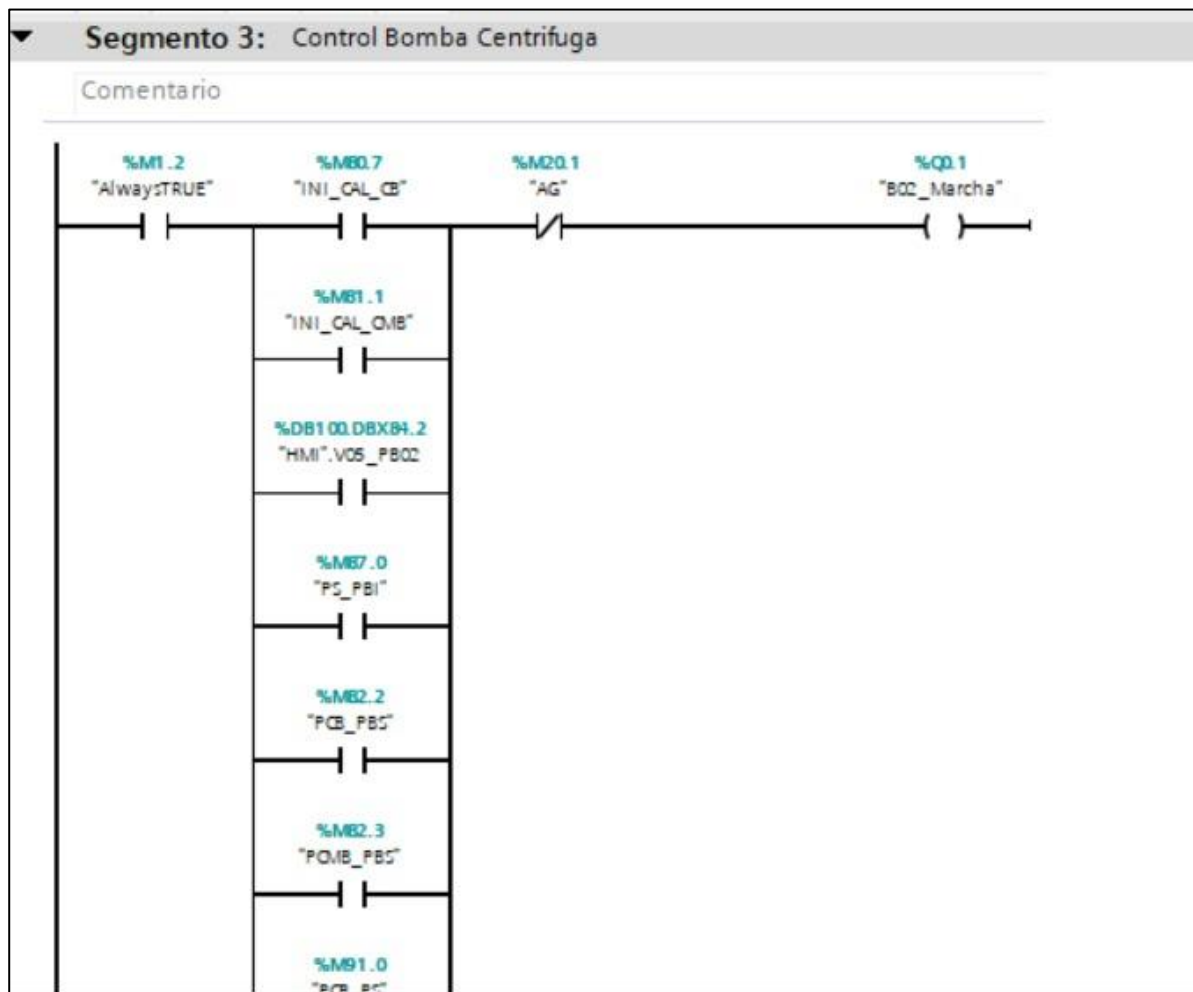


Figura 40. Programación control de bomba centrífuga

Fuente: programación actual del PLC

#### 4. Programación para el control de la válvula V-01.

En la figura 41 se puede observar la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-01, esta es la válvula neumática que intercambia entre los suministros de agua del tanque principal y el tanque elevado, se puede ver que hay una lógica de control “HMI, V01\_PB02” y “HMI, V01\_PB01” que permite accionar dicha válvula directamente desde la HMI.

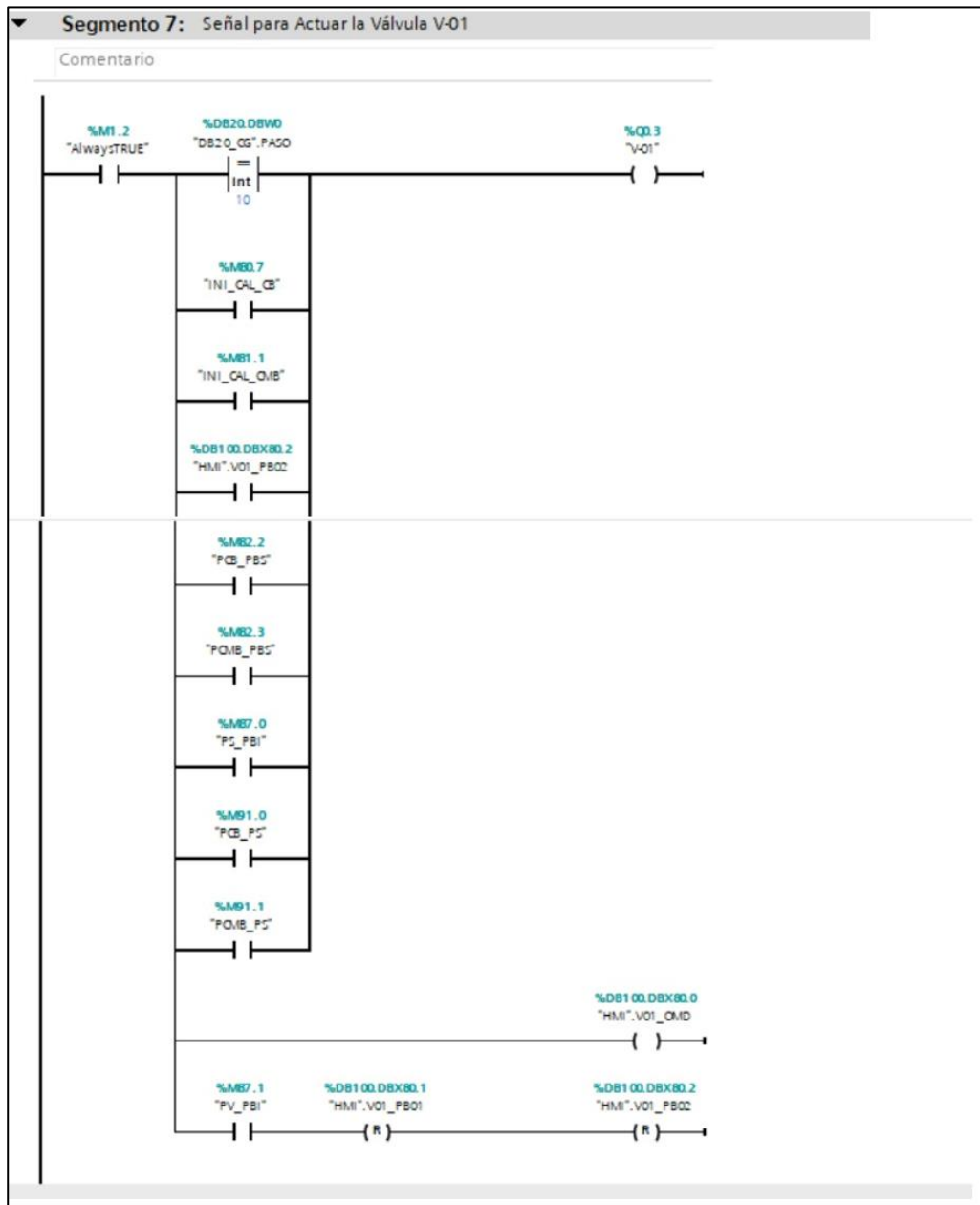


Figura 41. Programación de señal para actuar la válvula V-01.

Fuente: programación actual del PLC

## 5. Programación para el control de la válvula V-03.

En la figura 42 se puede apreciar la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-03, esta es la que controla la dirección del flujo entre los ramales de prueba y el desagüe que va devuelta al tanque principal, y se puede notar que tiene una lógica de control “HMI, V03\_PB02” que permite el accionamiento desde el HMI.

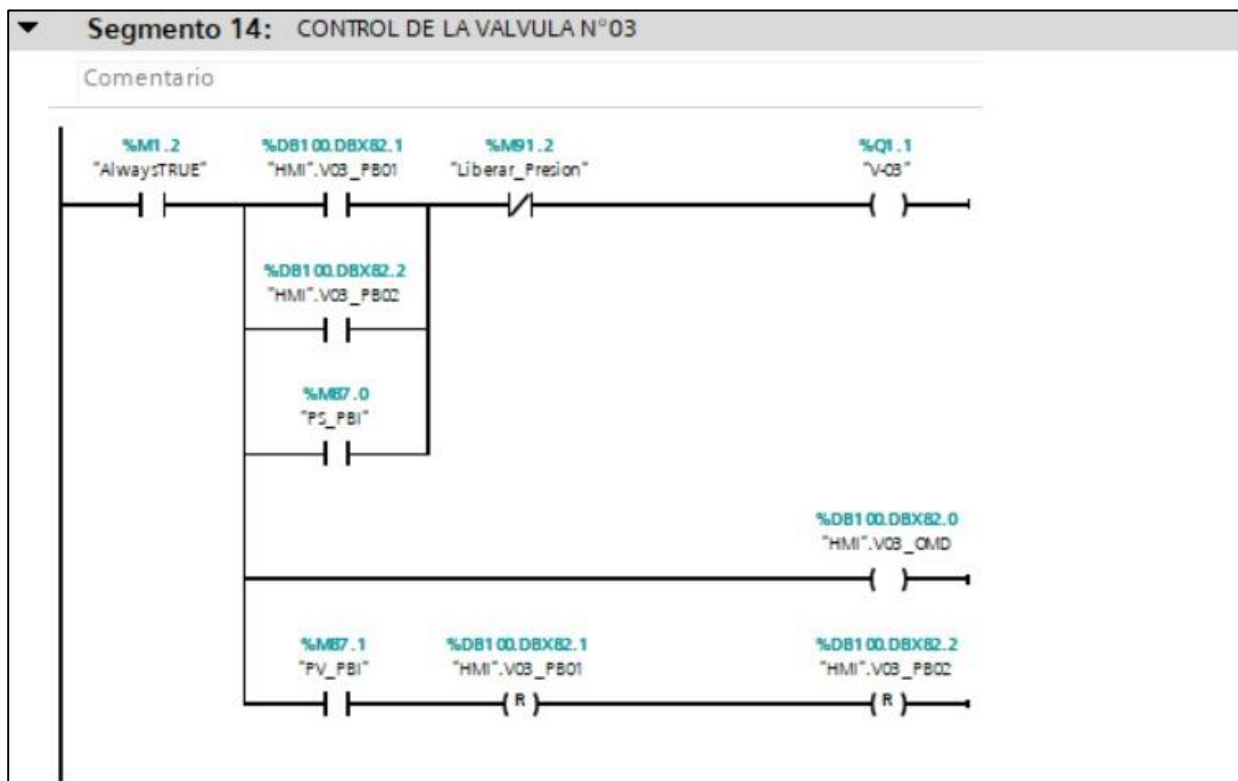


Figura 42. Programación de señal para actuar la válvula V-03.

Fuente: programación actual del PLC

## 6. Programación para el control de la válvula V-04.

En la figura 43 se puede observar la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-03, esta es la que controla el paso del flujo del ramal para caudales nominales Q3, que son los caudales más grandes a los que se prueban los hidrómetros, la lógica de control en la que se enfoca este proyecto es la que permite el accionamiento desde el HMI.

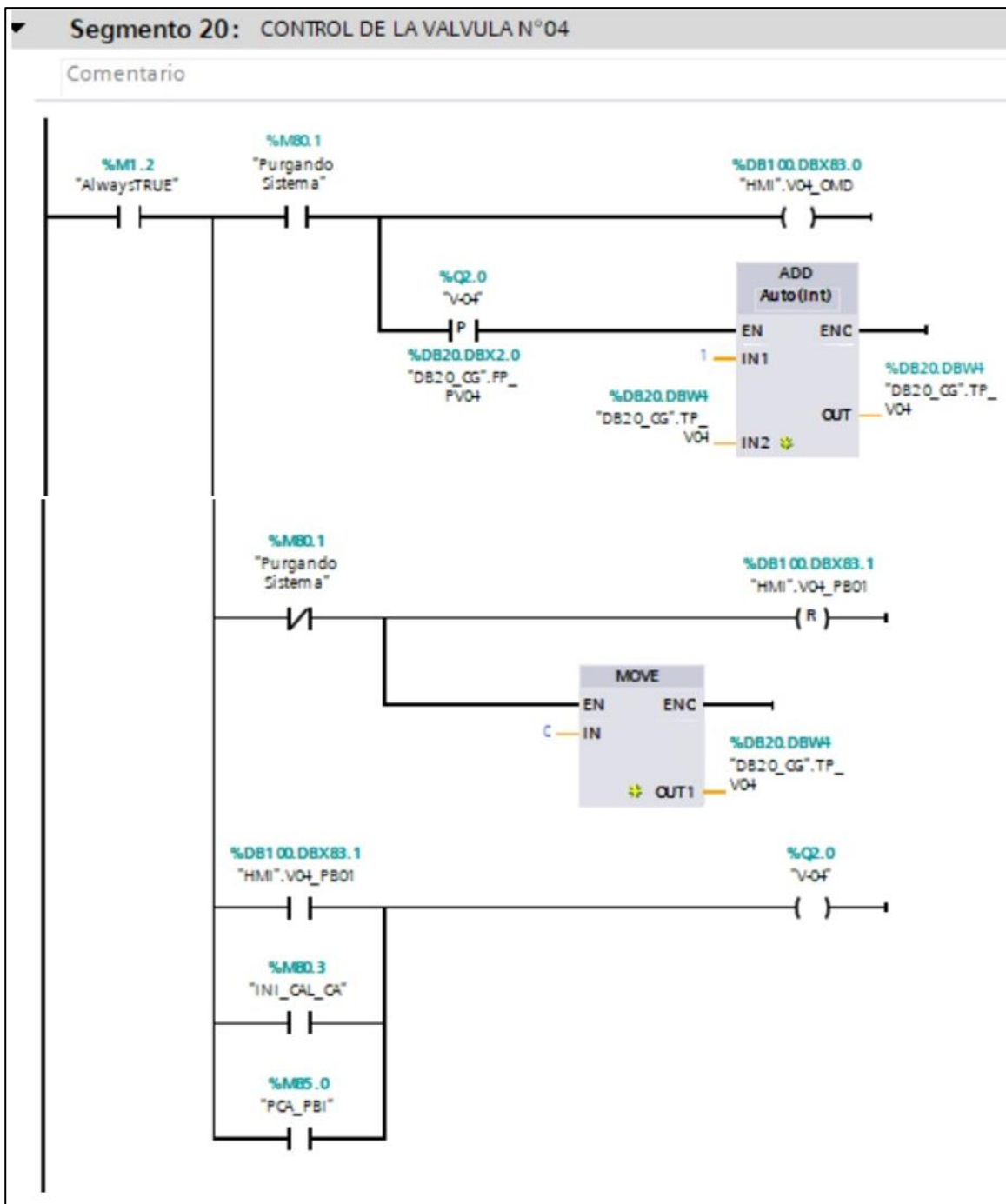


Figura 43. Programación de señal para actuar la válvula V-04.

Fuente: programación actual del PLC

## 7. Programación para el control de la válvula V-06.

En la figura 44 y 45 se detalla la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-06, esta es la que controla el paso del flujo del ramal para caudales intermedios Q2, que son los caudales de transición a los que se prueban los hidrómetros, la lógica de control en la que se enfoca este proyecto es la que permite el accionamiento desde el HMI.

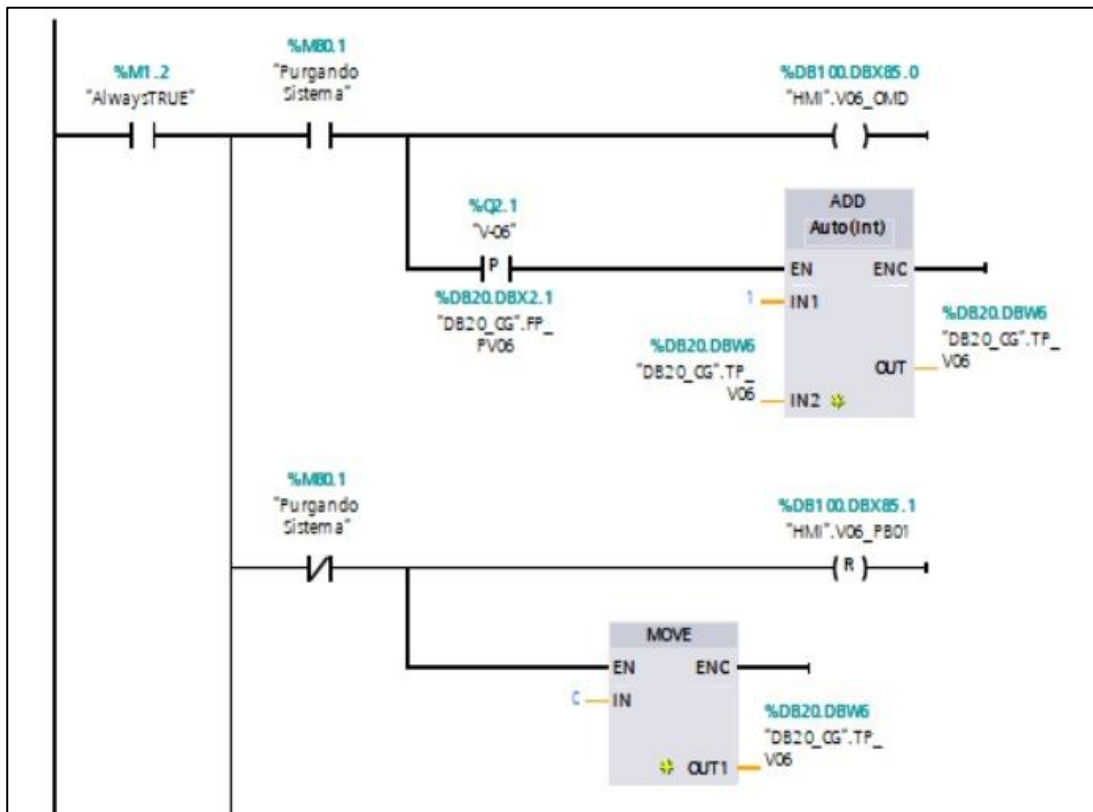


Figura 44. Programación de señal para actuar la válvula V-06.

Fuente: programación actual del PLC

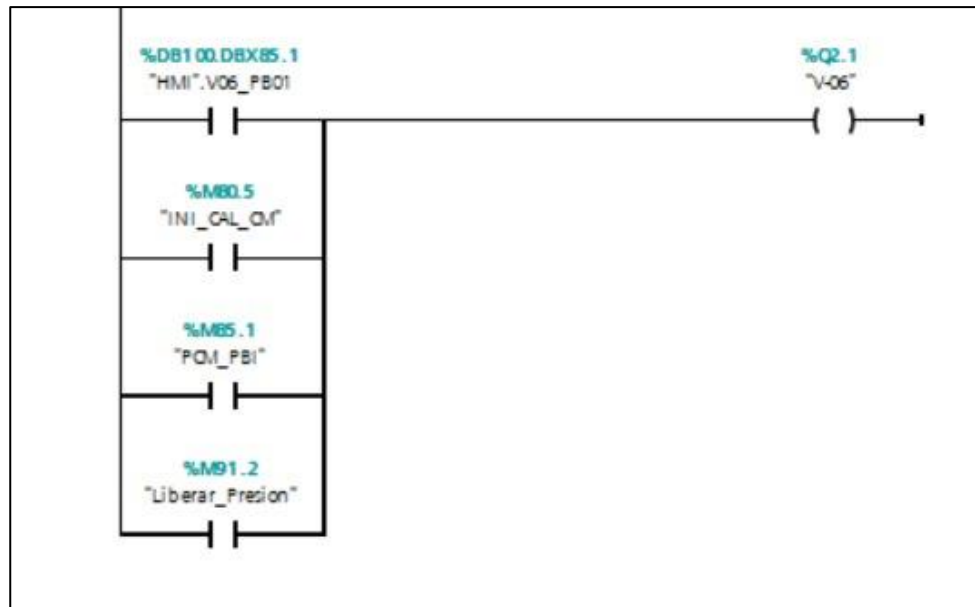


Figura 45. Programación de señal para actuar la válvula V-06.

Fuente: programación actual del PLC.

## 8. Programación para el control de la válvula V-08.

En la figura 46 y 47 se puede apreciar la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-08, esta es la que controla el paso del flujo del ramal para caudales mínimos Q1, que son los caudales más bajos a los que se prueban los hidrómetros, la lógica de control en la que se enfoca este proyecto es la que permite el accionamiento desde el HMI.

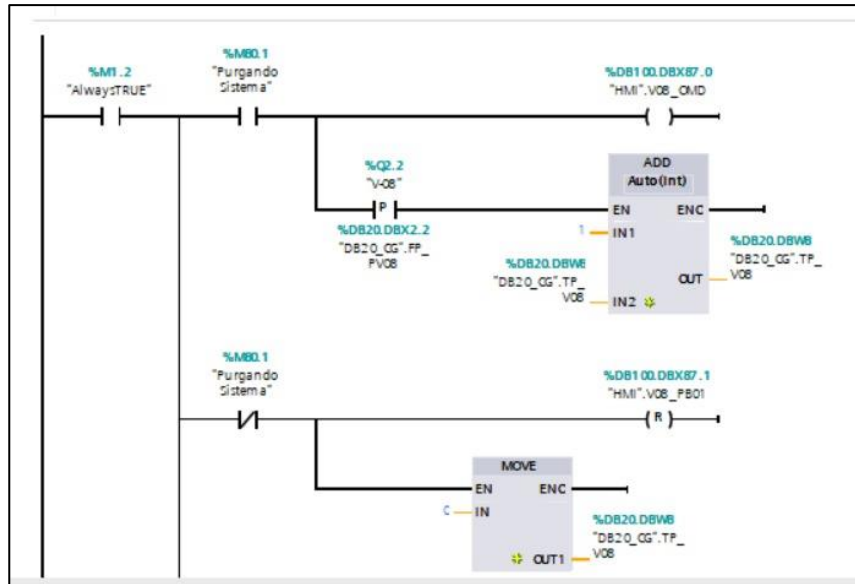


Figura 46. Programación de señal para actuar la válvula V-08.

Fuente: programación actual del PLC.

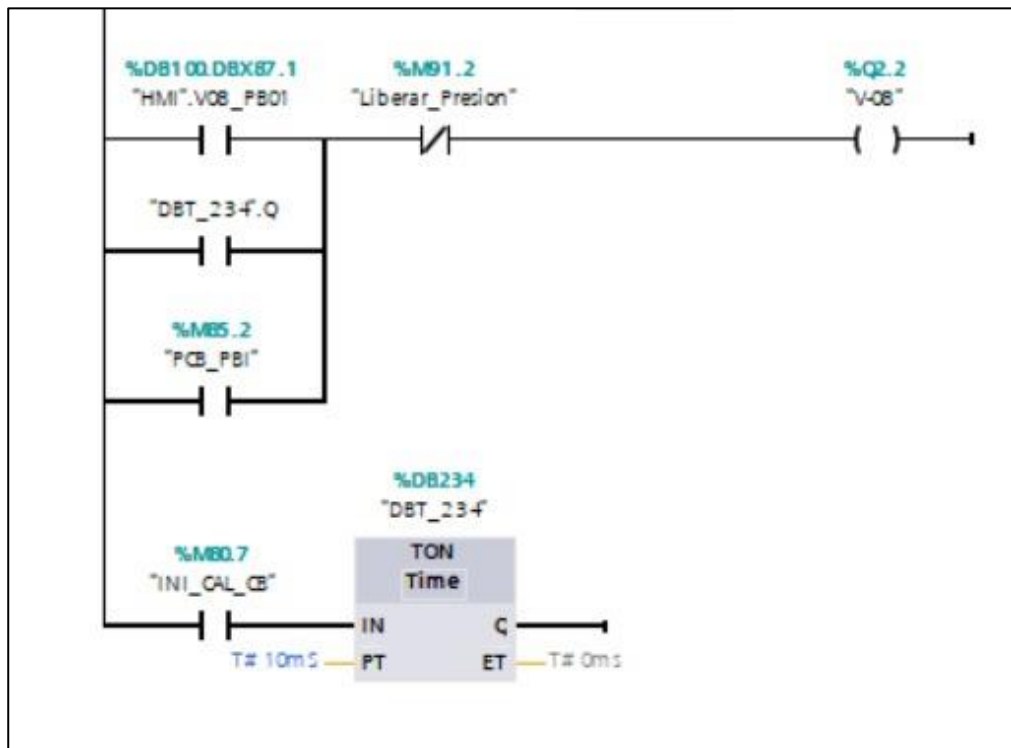


Figura 47. Programación de señal para actuar la válvula V-08.

Fuente: programación actual del PLC.

## 9. Programación para el control de la válvula V-10.

En la figura 48 y 49 se puede apreciar la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-10, esta es la que controla el paso del flujo del ramal para caudales de arranque  $Q_r$ , que es la medición de los caudales más bajos a los que los hidrómetros comienzan a contabilizar el flujo de agua, la lógica de control en la que se enfoca este proyecto es la que permite el accionamiento desde el HMI.

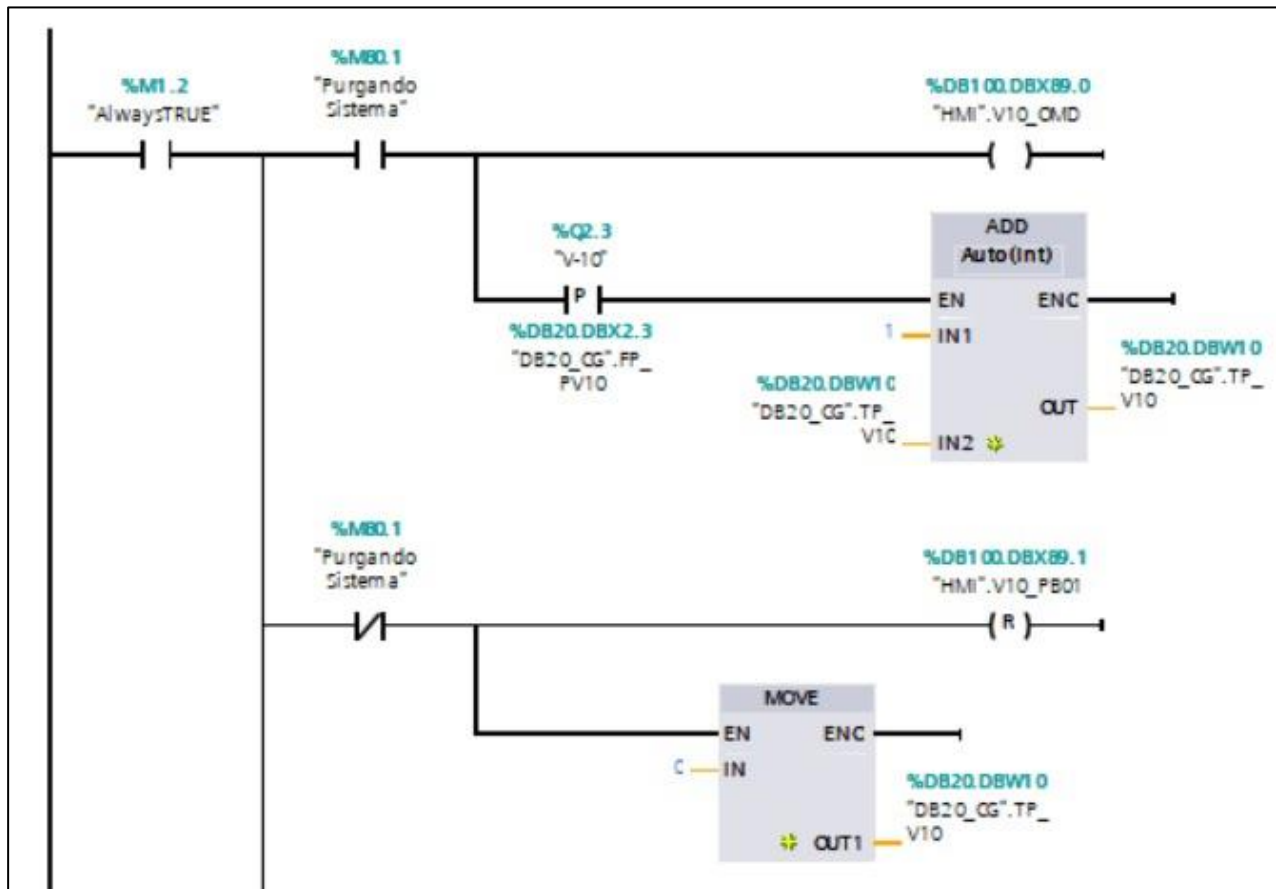


Figura 48. Programación de señal para actuar la válvula V-10.

Fuente: programación actual del PLC.

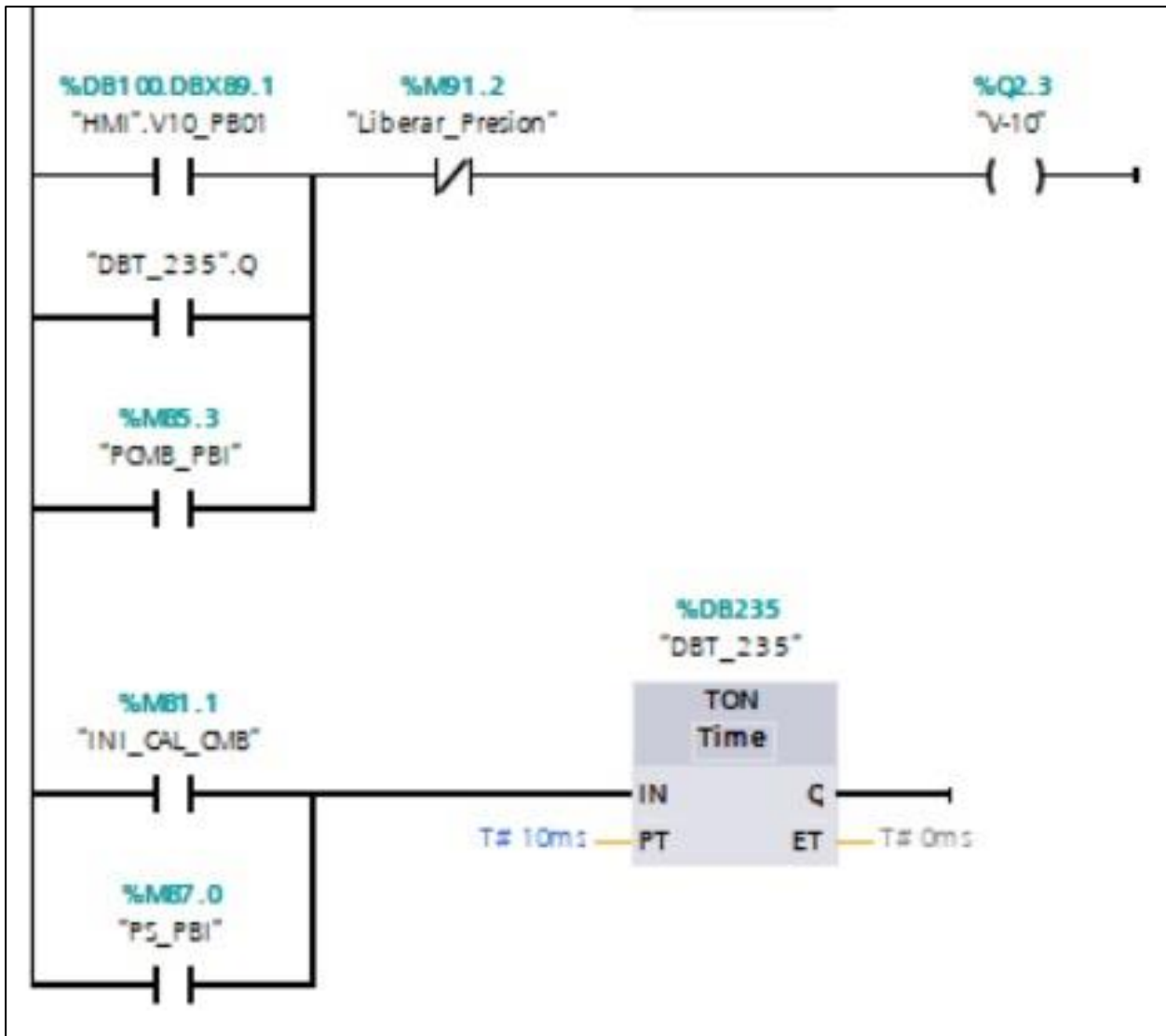


Figura 49. Programación de señal para actuar la válvula V-10.

Fuente: programación actual del PLC.

## 10. Programación para el control de la válvula V-12.

En la figura 50 se puede apreciar la lógica de control para el accionamiento de la válvula V-12, esta es la que controla la apertura o cierre de la descarga del tanque de captación, para la medición del volumen que se encuentra sobre la balanza, la lógica de control en la que se enfoca este proyecto es la que permite el accionamiento desde el HMI.

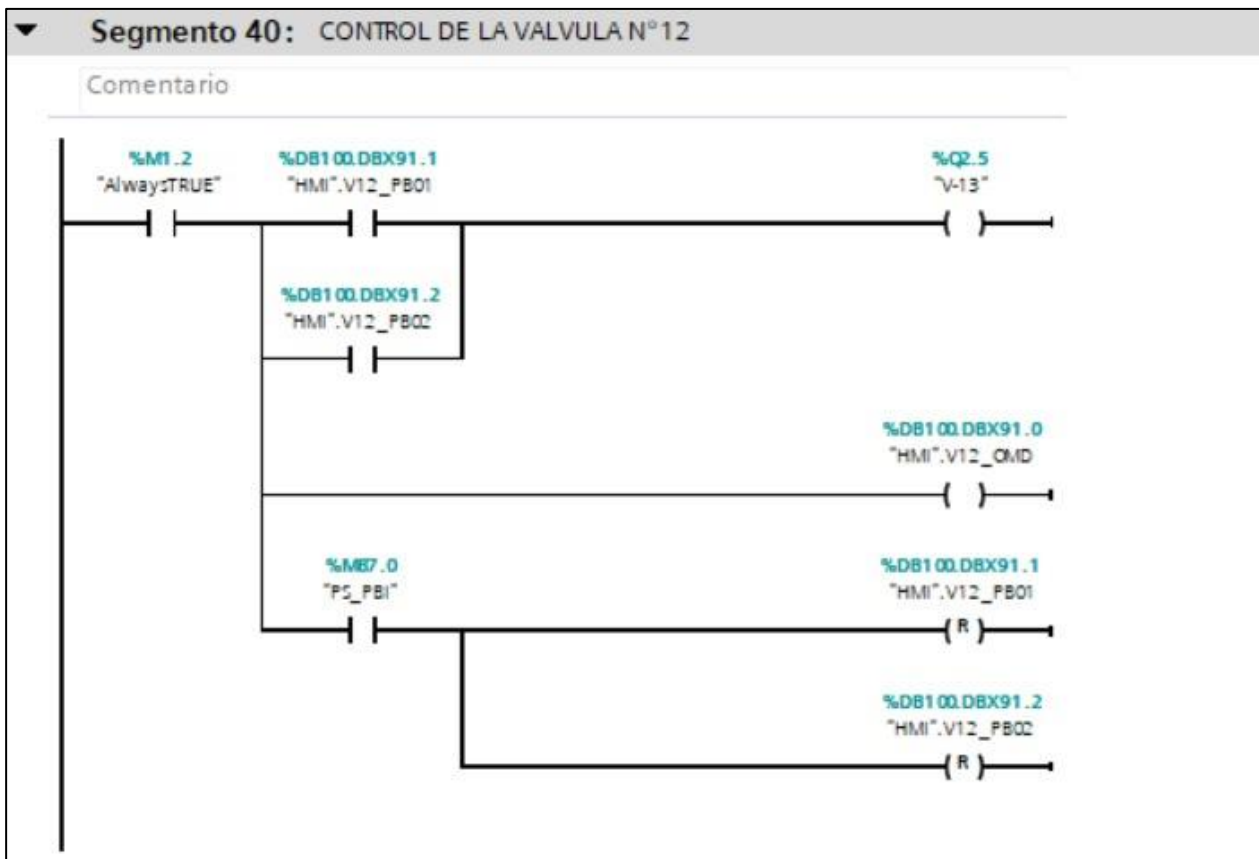


Figura 50. Programación de señal para actuar la válvula V-10.

Fuente: programación actual del PLC.

### **Análisis de la situación actual, diseño de las mejoras y su propuesta.**

En esta etapa se estará haciendo un análisis de la situación actual del equipo descrita anteriormente, tomando en cuenta las carencias y fallos en los equipos actuales, de manera que se pueda realizar una propuesta de mejoras en los componentes y el funcionamiento de estos.

En la descripción de la situación actual del equipo se hicieron varias anotaciones haciendo énfasis en las carencias y fallos del equipo, se hará una propuesta para mejorar o erradicar estos.

Se hará el análisis de cada uno de los fallos y carencias por separado para realizar una propuesta de mejora para cada uno de los problemas.

Se debe tomar en cuenta que las propuestas de mejoras realizadas en este proyecto tendrán que ser llevadas a cabo por personal capacitado afín al tema propuesto, no se realizara la implementación de la propuesta debido a que no se cuenta con la autorización por parte del laboratorio de flujo de agua del AYA para realizar pruebas en el banco, ya que no se puede correr el riesgo de sacar de funcionamiento el equipo, por lo que estos trabajos tendrían que ser subcontratados a una empresa que realice el trabajo y proporcione garantía del mismo.

### **Propuesta de sistema de suministro de agua**

En el sistema de suministro de agua se tiene una carencia, el tanque elevado no tiene un sensor de nivel, esto provoca que no se pueda determinar si el tanque cuenta con el nivel necesario para iniciar el ensayo, el operario debe mantener la bomba de llenado del tanque encendida en todo momento mientras se esté probando caudales mínimos e intermedios.

Realizando pruebas en el banco de medidores se logró determinar, que el tanque de 50 litros requiere un mínimo de 10 litros para que no varíe el caudal y presión de suministro por lo que para solventar este problema sin tener que mantener la bomba encendida el 100% del ensayo, se propone implementar dos sensores de tipo capacitivo, uno al 20% de la capacidad del tanque que permita que se accione la bomba en el momento en que el nivel del agua este por debajo del sensor y uno para que detenga la bomba cuando el agua llegue a la parte superior del tanque.

El PLC cuenta con entradas disponibles para estos sensores, y posee el cableado para accionar la bomba que suministra el agua al tanque, por lo que se puede realizar una lógica de control en el PLC con la cual se pueda encender y apagar la bomba mediante la señal de los sensores, de esta forma la bomba estaría trabajando solo el tiempo necesario para mantener el tanque en los niveles adecuados.

Se propone utilizar sensores de la marca AUTONICS, ya que es reconocida, fácil de conseguir en Costa Rica y tiene un precio accesible, en concreto se propone el siguiente sensor.

- Sensor capacitivo AUTONICS CR18-8D PNP NA



*Figura 51. Sensor capacitivo AUTONICS CR18-8D*

*Fuente: <https://www.autonics.com/series/3000470>*

Este sensor cuenta con las características de la figura 52, en ella se puede notar que el sensor cuenta con las características necesarias para medir el nivel de agua de un tanque, trabaja con un voltaje de 12 a 24V corriente directa, PNP NA por lo que se tendrá una señal positiva normalmente abierta, lo que permite implementar su uso con el PLC.

Además, este sensor cuenta con resistencia al agua con certificación IP66, lo que lo hace ideal para trabajar con el agua potable del tanque.

La programación e instalación de estos sensores en la lógica de control del PLC deberá ser implementada por una entidad subcontratada con conocimiento en el tema afín, de manera que exista garantía sobre el trabajo que se realice.

Ordering Information				
This is only for reference, the actual product does not support all combinations. For selecting the specified model, follow the Autonics website.				
CR ① - ② ③ ④				
<b>① DIA. of sensing side</b> Number: DIA. of sensing side (unit: mm)		<b>② Sensing distance</b> Number: Sensing distance (unit: mm)		
<b>③ Power supply</b> D: 12 - 24 VDC≐		<b>④ Control output</b> N: NPN Normally open N2: NPN Normally closed P: PNP Normally open		
Product Components				
	Product	Instruction manual	Nut	Washer
CR18	× 1	× 1	× 2	-
CR30	× 1	× 1	× 2	× 1
Sold Separately				
<ul style="list-style-type: none"> <li>M12 Connector cable: C□D(H)3-□</li> <li>Spatter protection cover: P90-M□</li> <li>Fixed bracket: P90-R□</li> </ul>				
Connections				
<b>■ Cable type</b>				
<b>■ Inner circuit (NPN output)</b>		<b>■ Inner circuit (PNP output)</b>		
Specifications				
Installation	Non-flush type			
Model	CR18-8D□	CR30-15D□		
DIA. of sensing side	Ø 18 mm	Ø 30 mm		
Sensing distance <sup>01)</sup>	8 mm	15 mm		
Setting distance	0 to 5.6 mm	0 to 10.5 mm		
Hysteresis	≤ 20 % of sensing distance			
Standard sensing target: iron	50 × 50 × 1 mm			
Response frequency <sup>02)</sup>	50 Hz			
Affection by temperature	≤ ± 20 % for sensing distance at ambient temperature 20 °C			
Indicator	Operation indicator (red)			
Approval	ERC	ERC		
Unit weight (package)	≈ 76 g (≈ 88 g)	≈ 206 g (≈ 243 g)		
<small>01) Based on grounding status of the standard target.            02) The response frequency is the average value. The standard sensing target is used and the width is set as 2 times of the standard sensing target, 1/2 of the sensing distance for the distance.</small>				
Power supply	12 - 24 VDC≐ (ripple P-P: ≤ 10 %), operating voltage: 10 - 30 VDC≐			
Current consumption	≤ 15 mA			
Control output	≤ 200 mA			
Residual voltage	≤ 1.5 V			
Protection circuit	Surge protection circuit, reverse polarity protection			
Insulation resistance	≥ 50 MΩ (500 VDC≐ megger)			
Dielectric strength	Between the charging part and the case : 1,500 VAC~ 50 / 60Hz for 1 min			
Vibration	1 mm double amplitude at frequency 10 to 55 Hz in each X, Y, Z direction for 2 hours			
Shock	500 m/s <sup>2</sup> (≈ 50 G) in each X, Y, Z direction for 3 times			
Ambient temperature	-25 to 70 °C, storage: -30 to 80 °C (no freezing or condensation)			
Ambient humidity	35 to 95 %RH, storage: 35 to 95 %RH (no freezing or condensation)			
Protection structure	DIA. of sensing side Ø 18 mm: IP66 (IEC standard) / DIA. of sensing side Ø 30 mm: IP65 (IEC standard)			
Connection	Cable type			
Cable spec.	DIA. of sensing side Ø 18 mm: Ø 4 mm, 3-wire, 2 m DIA. of sensing side Ø 30 mm: Ø 5 mm, 3-wire, 2 m			
Wire spec.	AWG 22 (0.08 mm, 60-core), insulator DIA.: Ø 1.25 mm			
Material	Standard type cable (black): polyvinyl chloride (PVC)			
DIA. of sensing side Ø 18 mm	Case / Nut: PA6			
DIA. of sensing side Ø 30 mm	Case / Nut: nickel-plated brass, washer: nickel-plated iron, sensing side: PBT			

Figura 52. Ficha técnica sensor capacitivo AUTONICS CR18-8D

Fuente: <https://www.autonics.com/series/3000470>

Para analizar en cuanto disminuye el uso de la bomba de recirculación se plantea el siguiente ejemplo usando las condiciones de más consumo de tiempo que podrían presentarse.

En el laboratorio se realizan tres pruebas diarias, cada uno consta de tres caudales, pero solo requieren del tanque elevado Q2 y Q1, si se toma en cuenta las siguientes características se puede realizar el cálculo del uso diario de la bomba:

- Los ensayos que demoran más tiempo son los que se realizan a los medidores de clase metrológica C, estos tardan 1600 segundos en Q2 y se utilizan 10 litros y 2400 segundos en Q1 y se utilizan 10 litros.
- La capacidad del tanque es de 50L.
- La posición del sensor que activa la bomba se implementa al 20% del tanque.
- Cantidad de ensayos Q2
- Cantidad de ensayos Q1
- Tiempo de llenado completo del tanque.

Se tiene un tanque de 50 litros y el sensor se activa al llegar al 20% del tanque, la bomba estará llenando el 80% restante de la capacidad del tanque.

$$50L \times 80\% = 40L$$

Se realizan tres pruebas diarias, tres caudales Q2 de 10 litros y tres caudales Q1 de 10 litros por lo que se necesitaran 60 litros diarios de agua.

$$(10L \times 3) + 10L \times 3 = 60L$$

Si se dividen los 60 litro que se consumen diarios entre los 40 litros que llena la bomba se obtienen la cantidad de veces que la bomba necesita llenar el tanque para suplir estos 60 litros

$$X = \frac{60L}{40L} = 1.5$$

Donde:

X: Cantidad de llenados del tanque

Se necesitan 1,5 veces el volumen del tanque, por lo que la bomba hará el llenado del tanque dos veces al día, el tiempo que tarda la bomba en llenar el tanque completo es de 205 segundos, este tiempo fue tomado mediante un cronómetro con certificado de calibración, si se toma solo el 80% del tiempo ya que solo el 80% del tanque se estaría llenando se tiene un tiempo de 164 segundos por cada llenado del tanque, si se llena dos veces al día se tiene un total de 328 segundos, lo que es igual a 5 minutos y 28 segundos.

Sin los sensores la bomba se mantiene encendida durante todo el tiempo de ensayo, el Q2 tarda 1600 segundos, y el Q1 tarda 2400 segundos, ambos se prueban 3 veces al día, por lo que da un total de 12000 segundos lo que es igual a 200 minutos o 3 horas 19 minutos y 59 segundos, esto indica que se reducirá el tiempo de uso diario de la bomba de 200 minutos al día a 5 minutos y 28 segundos, esto son 36,58 veces menos tiempo, un 97,26% de ahorro de tiempo.

### **Propuesta de sistema de suministro de aire**

El compresor no cuenta con etapas de preparación del aire ya sea eliminación de partículas gruesas, el secado y la preparación fina del aire, esto hace que el aire del que se alimente el equipo sea aire de baja calidad, el cual está afectando la vida útil de todos los componentes neumáticos del equipo.

Para prolongar la vida útil de todos los componentes neumáticos del banco de pruebas se propone la compra e instalación de un secador y un filtro de partículas, para estos se recomienda un secador refrigerativo ya que cumple con las necesidades de la aplicación, para la propuesta de este sistema se tomará en cuenta la norma DIN ISO 8573-1 que indica las clases de calidad del aire. En la figura 7 en el marco teórico pueden verse las aplicaciones y las clases de calidad (DIN ISO 8573-1) recomendadas para cada aplicación neumática, en este caso se utilizará para la aplicación de válvulas neumáticas, además se realizará el calculo de la perdida de flujo por altitud de la instalación del compresor.

### **Cálculo de pérdida de flujo por altitud de la instalación del compresor.**

Las condiciones del aire libre dependen del lugar donde este se encuentre y son afectadas por factores como la altitud del lugar respecto al mar, la latitud, la temperatura, la humedad. Es por esta razón que los fabricantes especifican el caudal de aire que entregan los compresores en litros, CFM o metros cúbicos de aire libre en el sitio, dado que la masa de aire disponible por unidad de volumen cambia respecto al lugar.

Sin embargo, era necesario hacer un punto de referencia para poder calcular el sistema de aire comprimido y lograr escoger un secador que se adapte a las condiciones de trabajo del sitio del sistema, por lo que se definieron condiciones estándar del aire que sirviera de referencia. Estas condiciones de referencia son las siguientes.

- Temperatura: 25 °C
- Presión: 1 atm.
- Altitud 0 msnm

Pero no en todos los lugares se tienen estas condiciones, por lo que se definió un factor de actualización del caudal para el aire en condiciones diferentes de las del estándar. En la ecuación 3-2 se muestra cómo se obtiene el valor actualizado de caudal de aire en CFM.

$$ACFM = SCFM \frac{P_{ref}}{P_1 - (P_{sat} \cdot \Phi)} \cdot \frac{T_1}{T_{ref}}$$

Donde:

- ACFM es el caudal en las condiciones del lugar (cfm)
- SCFM es el caudal en las condiciones de referencia (cfm)
- Pref es la presión en condiciones de referencia (psi)
- P1 es la presión en condiciones del lugar (psi)
- Psat es la presión de saturación a la temperatura del lugar (psi)
- Φ es el porcentaje de humedad relativa del lugar (%)
- T1 es la temperatura del lugar en unidades absolutas (F)
- Tref es la temperatura en condiciones estándar en unidades absolutas (F)

Aplicando la formula descrita anteriormente con los datos de la ficha técnica del compresor de la figura 34, los datos de referencia y los parámetros de la ubicación del lugar donde se encuentra el compresor, la Uruca San Jose Costa Rica, con una altitud de 1112 msnm, una humedad relativa de 76% tomada con un instrumento ubicado en el laboratorio y una temperatura tomada en sitio de 27 grados Celsius. se obtiene los siguientes resultados:

- La presión atmosférica a 0 msnm es de 14,69 PSI
- La presión atmosférica a 1112 msnm es de 12.86 PSI
- 27 °C = 80.6 °F
- 25 °C = 77 °F
- SCFM = 15.2 CFM
- Psat a 80.6 °F = 0.5241 PSI
- $\phi = 76\%$

$$ACFM = 15,2 \frac{14.69}{12.68 - (0.5241 \cdot 0.76)} \cdot \frac{80.6}{77} = 19.03$$

- ACFM = 19.03

sí dividimos los SCFM/ACFM obtendremos el factor de corrección que se le aplica al compresor para conocer los CFM libres que nos brindara el compresor en las condiciones descritas.

$$\frac{SCFM}{ACFM} = \frac{15.2}{19.03} \cdot 0.8 = 80\%$$

Si aplicamos el factor de corrección al dato de la ficha técnica del compresor nos da el siguiente resultado:

$$15.2 \text{ CFM} \cdot 0.80 = 12.16 \text{ CFM}$$

En las condiciones descritas el compresor estaría entregando un caudal de 12.16 CFM, esto por la afectación de la altitud, temperatura y humedad relativa.

Se plantea como propuesta los siguientes modelos de equipos.

Secadores refrigerativos KAESER SECOTEC de las series TAH.



*Figura 53. Secador Refrigerativo KAESER KRYOSEC*

*Fuente: <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/secadores/secadores-refrigerativos/secadores-refrigerativos-pequenos-secotec/>*

Según KAESER COMPRESORES: Los secadores compactos refrigerativos KRYOSEC representan la renombrada calidad alemana “Hecho en Alemania”. Estos equipos que secan el aire con gran confiabilidad en temperaturas ambiente hasta 50°C (122°F), operan con un alto grado de eficiencia gracias a su diseño que demanda poco mantenimiento y a su intercambiador de calor en acero inoxidable que genera mínimas pérdidas de presión. Gracias a su estructura compacta, pueden instalarse allí donde se necesiten – bajo puentes de equipos, en superficies de trabajo o incluso colgados de la pared (serie TAH).

- Secado confiable del aire comprimido desde 12 hasta 159 scfm
- Presiones de trabajo hasta 232 psig
- Opciones: Drenaje electrónico de condensados ECO-DRAIN y/o termostato electrónico para advertencia sobre el punto de rocío – ambos con contactos libres de potencial

La versión TAH7 cuentan con la ficha técnica de las Figuras 53 y 54.

<b>Secador refrigerativo KRYOSEC</b>	
<b>Modelo: TAH 7</b>	
<b>Secador refrigerativo con regulador bypass de gas caliente</b>	
<p>Las funciones del secador refrigerativo de las series KRYOSEC TAH 7 son confiables incluso en altas temperaturas ambiente, gracias al buen diseño de su circuito refrigerante. Otras características claves del secador refrigerativo incluyen la confiabilidad del flujo, drenaje electrónico de condensado, sistema intercambiador de calor de placas de acero inoxidable con intercambiador de calor aire/aire y eficiente separador de condensado, además necesita una altura mínima de instalación y un espacio reducido. Hecho en Alemania.</p>	
<p><b>Datos técnicos</b> (de acuerdo a las condiciones de referencia de la norma ISO 7183 Opción A2: temperatura ambiente +100 °F, temperatura de admisión del refrigerante +100 °F, temperatura de admisión del aire +100 °F, presión operativa 100 psi; máx. altitud de instalación: 3000 pies sobre el nivel del mar; los datos cambiarán bajo diferentes condiciones)</p>	
<b>Flujo nominal</b>	<b>21 cfm</b>
<b>Consumo de energía eléctrica al 100 % del flujo volumétrico</b>	<b>0.24 kW</b>
Punto de rocío	43 °F
Diferencial de presión del secador	1.89 psi
Presión operativa (min./máx.)	44 psi/232 psig
Temperatura ambiente permitida (min./máx.)	38 °F/ 122 °F
Conexión del aire comprimido	1/2 NPT
Conexión del drenaje de condensados	1/4 NPT
Conexión eléctrica	115V / 1 / 60Hz
Dimensiones (L x A x A)	15.197 IN x 18.622 IN x 17.323 IN
Peso	53 lb

Figura 54. Ficha técnica secadora refrigerativo KEASER SECOTEC TA

Fuente: <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/secadores/secadores-refrigerativos/secadores-refrigerativos-pequenos-secotec/>

<b>Datos Técnicos - Secador refrigerativo KRYOSEC TAH 7</b>	
Agente refrigerante (gases fluorados de efecto invernadero)	R-513A
Carga de refrigerante	0.33 lb
Posible calentamiento global (PCG)	631
Equivalente de CO2	0.09 t
Circuito refrigerante herméticamente cerrado	Sí
<b>Equipamiento estándar:</b>	
Intercambiador de calor Aire/Aire	Estándar
Drenaje electrónico de condensado	Estándar
Acople de la tubería para manguera de condensado externa	Estándar
Componentes eléctrico de acuerdo con la norma EN 60204-1	Estándar
Interruptor principal con aislador de red	Estándar
Adecuado para montaje en la pared	Estándar
Patas de montaje	Estándar
Visualización de tendencias PDP	Estándar
Regulador bypass de gas caliente	Estándar
<b>Opciones disponibles:</b>	
Contacto libre de voltaje para "advertencias de punto de rocío"	No
Drenaje electrónico de condensado ECO-DRAIN con contacto libre de voltaje Electrónico	

Figura 55. Ficha técnica secadora refrigerativo KEASER SECOTEC TA

Fuente: <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/secadores/secadores-refrigerativos/secadores-refrigerativos-pequenos-secotec/>

Tomando en cuenta las especificaciones del compresor con el que se cuenta, descrito anteriormente en la situación actual en la Figura 34 y el cálculo de la pérdida de flujo por altitud de la instalación geográfica del compresor el cual da un caudal de 12.16 CFM, se puede ver en las Figuras 52 y 53 la versión del enfriador que se plantea como propuesta para este compresor, es la TAH 7, ya que esta cuenta con un flujo volumétrico de 21 CFM a una presión de trabajo de entre 44 y 232 PSI, el cual cumple perfectamente para esta aplicación y queda un poco sobredimensionado para futuras mejoras o ampliaciones.

Al igual que el secador con el fin de prolongar la vida útil de los componentes neumáticos del banco de pruebas se recomienda instalar un filtro de partículas.

Según KAESER COMPRESORES, los KAESER FILTER son los componentes clave para producir aire comprimido de todas las clases de limpieza conforme a la norma ISO 8573-1 y con unas pérdidas de presión mínimas. Gracias a su diseño de fácil mantenimiento, estos filtros permiten abrir y cerrar fácilmente su carcasa sin cometer errores, así como cambiar de manera rápida y limpia el elemento filtrante.

- Flujo: De 20 a 1130 CFM
- Máxima presión de trabajo 232 psi
- Máxima temperatura de operación 150 °F (65.5 °C)

Tomando en cuenta la siguiente ficha técnica de la figura 56 y 57 se puede seleccionar un tipo para la aplicación de este proyecto, se sugiere utilizar un filtro de tipo F6KE que cumple con las especificaciones necesarias para el compresor de aire que se tiene y para las necesidades del laboratorio tomando en cuenta el valor de partículas recomendado por la norma ISO 8573-1 para válvulas neumáticas que es de 0.05mg/m<sup>3</sup> y el filtro F6KE filtra hasta un 0.01mg/m<sup>3</sup> por lo que es adecuado para esta aplicación.

	<b>KC<sup>1</sup></b> <i>(Cyclone)</i> <b>Moisture Separator</b>	<b>KB<sup>2</sup></b> <i>(Basic)</i> <b>Coalescing and Particulate</b>	<b>KE<sup>2</sup></b> <i>(Extra Fine)</i> <b>Extra Coalescing and Particulate</b>	<b>KD</b> <i>(Dust)</i> <b>Particulate (Afterfilter)</b>	<b>KA</b> <i>(Adsorb)</i> <b>Vapor</b>
<b>Initial pressure differential at saturation</b>	1.5 psi	2.0 psi	< 2.9 psi	< 0.5 psi (New, dry)	0.5 psi (New, dry)
<b>Aerosol content at inlet</b>	-/-	10 mg/m <sup>3</sup>	10 mg/m <sup>3</sup>	-/-	-/-
<b>Remaining aerosol content at outlet as per ISO 12500-1:06-2007</b>	-/-	< 0.1 mg/m <sup>3</sup>	< 0.01 mg/m <sup>3</sup>	-/-	-/-
<b>Filter medium</b>	-/-	Deep pleated with support structure and polyester drainage fiber		Deep pleated with support structure	High efficiency carbon fiber
<b>Application</b>	Bulk liquid separation	Filters solids, liquids, aerosols, and particulates	Same as KB, but for higher compressed air quality	Exclusively for filtering particulates	Exclusively for removing oil vapor

Figura 56. Ficha técnica de filtros KAESER FILTER

Fuente: <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/filtracion/filtros-del-aire-comprimido/>

Datos técnicos KE			
Versión estándar			
Modelo	F6KE	F9KE	F16KE
Flujo volumétrico cfm	21	32	57
Conexión del aire comprimido	½, ¾	½, ¾	¾, 1
Presión de trabajo psi	30 - 232	30 - 232	30 - 232
Temperatura ambiente °F	38 - 122	38 - 122	38 - 122
Temperatura en la admisión °F	38 - 150	38 - 150	38 - 150
Peso lb	8	8	9
Voltaje del dren de condensados	95...240 VAC; 100...125 VDC	95...240 VAC; 100...125 VDC	95...240 VAC; 100...125 VDC

Figura 57. Ficha técnica de filtros KAESER FILTER

Fuente: <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/filtracion/filtros-del-aire-comprimido/>

Se tomaron estos equipos como propuesta para este proyecto debido a que son de una marca reconocida de origen alemán y cuentan con respaldo en Costa Rica.

### Propuesta de sistema de control automático

El panel de control principal donde se encuentra el PLC con toda la lógica de control no cuenta con un respaldo eléctrico, por lo que si ocurre una descarga eléctrica por un rayo o un corte en el suministro eléctrico este sufre una desconexión inmediata con el riesgo de provocar un daño en los componentes eléctricos y electrónicos.

Para solventar esta problemática se propone el uso de un respaldo eléctrico UPS, el panel cuenta con una fuente de alimentación SIEMENS SITOP PSU200M 6EP1334-3BA00 de 24V DC la cual alimenta toda la lógica de control, este trabaja con un voltaje de entrada de 120V AC, se hicieron mediciones de los amperes que consume la fuente con el banco de pruebas en uso y consume en promedio 0.6A por lo que se puede realizar el cálculo del consumo eléctrico para determinar la UPS adecuada para respaldar el suministro eléctrico.

Se determina la potencia eléctrica mediante la siguiente formula:

Formula de potencia eléctrica:

$$P = I * V$$

$$0.6A * 120V = 72W$$

Adicionalmente la ficha técnica de la fuente indica que la corriente nominal de entrada es de 4.4A a 120V por lo que, si se realiza el cálculo con base en esta, se obtienen los siguientes resultados:

$$P = I * V$$

$$4.4A * 120V = 528W$$

Se puede observar que la potencia real medida en el sitio es mucho inferior que la potencia nominal del equipo, tomando en cuenta futuras adaptaciones en el equipo o aplicaciones en los sistemas que energiza la fuente de alimentación, se hará la propuesta de una UPS con base en la potencia nominal sacada con la ficha técnica del equipo, ya que este es el consumo más alto al que eventualmente podría llegar la fuente de alimentación.

Con los cálculos antes realizados se propone la implementación la siguiente UPS o en su defecto una con especificaciones similares:

Una UPS de marca APC modelo BVX1200L-LM



*Figura 58. UPS APC BVX1200L-LM*

*Fuente: <https://www.apc.com/cr/es/product/BVX1200L-LM/apc-backups-1200va-120v-avr/>*

En las figuras 59 y 60 se puede apreciar la ficha técnica de esta UPS, en la que se puede ver que suministra una potencia nominal de 650W a 120V lo cual es adecuado para suplir la necesidad del banco de pruebas de este proyecto.

Principal	
Tiempo de ejecución para la carga	650 W ⓘ 1min 1s Min.-máx.: 65-650 W
Máx. capacidad utilizada ⓘ	 100 %
Main Input Voltage	120 V AC 1 fase
Main Output Voltage	120 V AC 1 fase
Potencia nominal en W	650 W
potencia nominal en VA	1200 VA
Input Connection Type	NEMA 5-15P
output connection type	6 NEMA 5-15R
Longitud de cable	1,52 m
Número de cables	1
tipo de batería	Batería sellada de plomo

Figura 59. Ficha técnica de UPS APC BVX1200L-LM

Fuente: <https://www.apc.com/cr/es/product/BVX1200L-LM/apc-backups-1200va-120v-avr/>

Salida	
<b>Máxima potencia configurable (vatios)</b>	650 W
<b>Frecuencia de salida (sincronizada a red eléctrica principal)</b>	50/60 Hz +/- 1 Hz sincronizada a red eléctrica principal
<b>Topología</b>	Línea interactiva
<b>Tipo de forma de onda</b>	Aproximación acompasada de una onda sinusoidal
<b>la ranura para destornillador</b>	98 % - tipo de cable: carga completa)
<b>Full load runtime</b>	00:01:00 650 W
<b>Graph display</b>	1
<b>Half load runtime</b>	00:06:00 325 W
<b>Maximum configurable power in VA</b>	1200 VA
<b>Tiempo de transferencia</b>	Valor típico 6 ms : Valor máximo 10 ms

*Figura 60. Ficha técnica de UPS APC BVX1200L-LM*

*Fuente: <https://www.apc.com/cr/es/product/BVX1200L-LM/apc-backups-1200va-120v-avr/>*

Adicionalmente el PLC equipado en el banco es un SIEMENS S7-1200 de primeras generaciones con una versión de firmware 3.0, la cual está obsoleta ya que SIEMENS discontinuó este modelo, haciendo un cambio en los componentes internos de los nuevos S7-1200, por lo que el PLC instalado no permite hacer actualizaciones, y esta versión 3.0 no permite realizar un respaldo completo de la programación. Por lo que se recomienda hacer un cambio a un PLC más moderno ya sea un SIEMENS S7 1200 de última generación o de una casa comercial distinta que cumpla con los requerimientos.

## Propuesta de panel HMI

En la situación actual se denotó que este banco de pruebas cuenta con una Interfaz que es poco intuitiva con el usuario ya que los botones de accionamiento se encuentran directamente colocados en las figuras del diagrama, por lo que para un usuario ajeno al equipo es difícil determinar dónde están situados algunos de los pulsadores.

Por lo que se rediseño para hacerla más amigable con el usuario, en la figura 61 se puede apreciar el nuevo diseño, además se puede notar que se incluyó una sección específica de pulsadores, un ingreso y contador de tiempo con el cual se puede establecer un tiempo requerido y visualizar el tiempo transcurrido de la prueba, esta función está ligada a una modificación en la programación del PLC que se puede notar en la Figura 68 en el apartado de propuesta de programación.

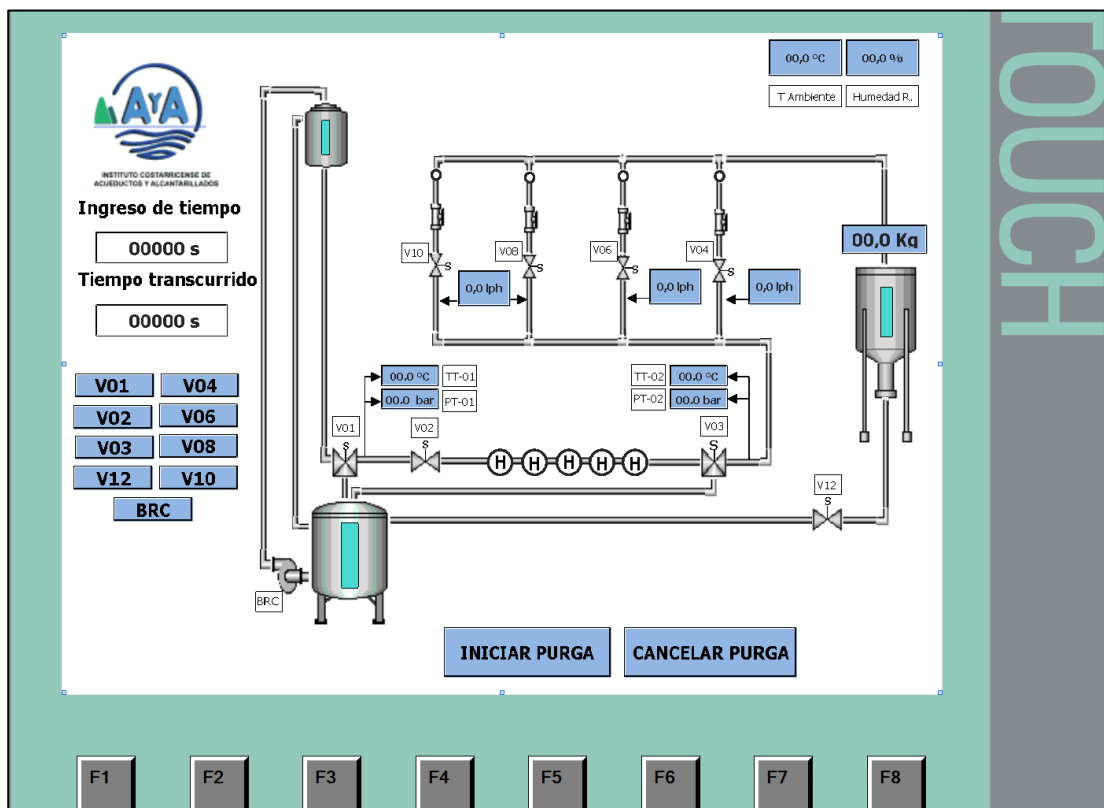


Figura 61. Propuesta de diseño de HMI

Fuente: propia

En la figura 36 de la situación actual del equipo se puede observar que en el diseño original de la pantalla HMI no contaba con una sección de botones, las válvulas se accionaban directamente en el diagrama lo cual no era muy intuitivo, en el nuevo diseño se incluyó la sección de botones y una función que enciende en color rojo o verde un indicador sobre cada válvula para ver si el estado de esta es cerrada o abierta, o en un sentido u otro en las válvulas de 3 vías, esta función se puede notar en la figura 62.

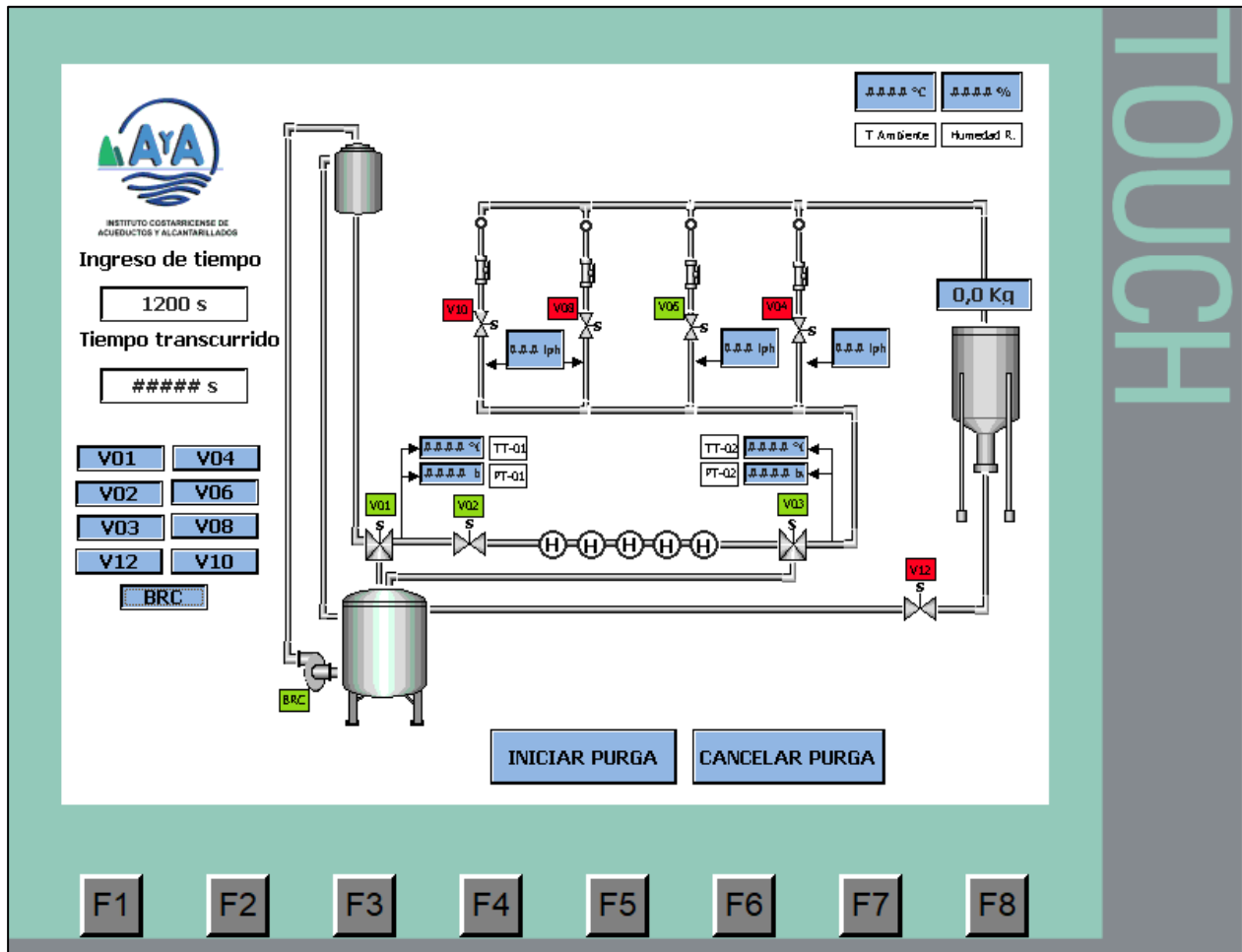


Figura 62. Indicador de estado con color sobre las válvulas.

Fuente: propia

En el apartado de ingreso de tiempos se despliega un menú en el cual se puede digitar el tiempo requerido de la prueba, de manera que el operario pueda establecer el tiempo de acuerdo a la necesidad, una vez que el tiempo concluye, la válvula que se encontraba activa dejando pasar caudal, se cerrara automáticamente. En la figura 63 se puede ver el menú de ingreso de tiempo.

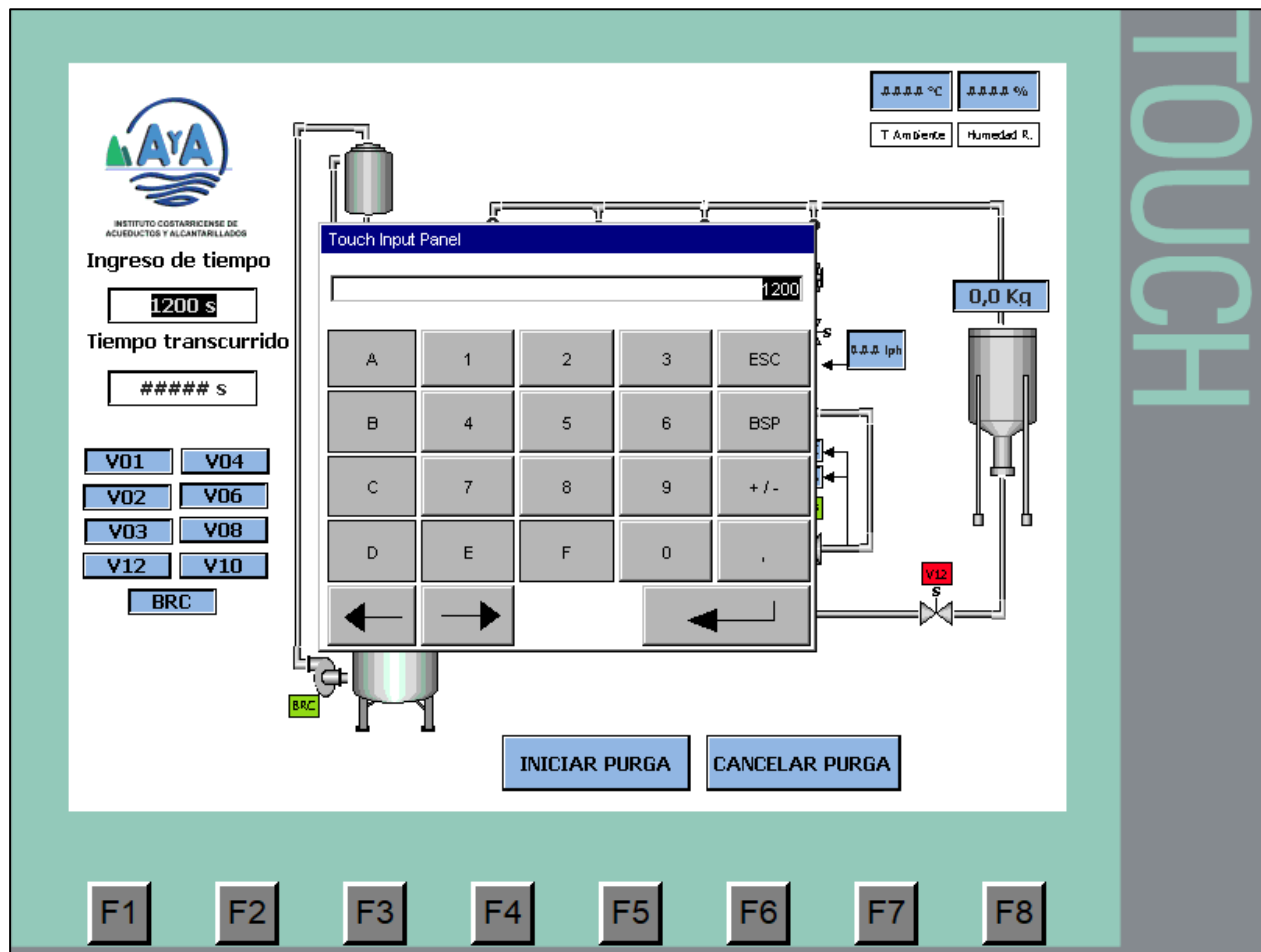


Figura 63. Menú de ingreso de tiempo de ensayo

Fuente: propia

El tiempo requerido lo tomaría el operario con base en una tabla de tiempos con la que cuenta el laboratorio, donde se especifica la duración requerida para cada tipo de medidor, esta tabla toma en cuenta el caudal y el volumen para determinar el tiempo necesario, la misma se puede observar a continuación:

Tabla 1. Caudales y tiempos para prueba de medidores

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS										
Tabla de caudales y tiempos para pruebas de medidores										
MARCA	DIAMETRO	MODELO	TIPO	CLASE	Q3	Tiempo	Q2	Tiempo	Q1	Tiempo
ARAD	12	MJ	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
ARAD	12	PD	VOL	C	1500 - 100	250 seg	22.5 - 10	1510 seg	15 - 10	2190 seg
ARAD	12	Q15	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
ARAD	19	MJ	VEL	B	2500 - 100	155 seg	200 - 20	354 seg	50 - 10	716 seg
ARAD	25	MJ	VEL	B	5000 - 400	290 seg	400 - 50	450 seg	100 - 10	350 seg
LLIANLY	25	MJ	VEL	B	3500 - 300	305 seg	280 - 20	240 seg	70 - 10	500 seg
ARAD	12	Q15	VEL	R50	1600 - 100	250 seg	51.2 - 10	680 seg	32 - 10	1050 seg
KENT	12	PSM	VOL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
KENT	19	PSM	VOL	B	2500 - 100	150 seg	200 - 20	350 seg	50 - 10	680 seg
ELSTER	12	V-100	VOL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
IBERCONTA	12	IBERCONTA	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
MULTIMAG	12	TM-II	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
TECNOBRAS	12	TM-II	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
ACTARIS	12	TM-II	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
ITRON	12	AQUADIS	VOL	C	1500 - 100	250 seg	22.5 - 10	1510 seg	15 - 10	2400 seg
BARMETER	12	MT-KD-P	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
BADGER	12	M-25 LL	VOL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
FAE	12	DELTA	VEL	R50	1600 - 100	250 seg	51.2 - 10	680 seg	32 - 10	1050 seg
RYM	12	**	VEL	B	1500 - 100	250 seg	120 - 20	600 seg	30 - 10	1130 seg
BAYLAN	19	TK-21	VEL	R160	2500 - 100	155 seg	25 - 10	1330 seg	15.62 - 10	2310 seg
ZENNER, DH	19	PN-16	VEL	B	2500 - 100	155 seg	200 - 20	350 seg	50 - 10	726 seg
AIMEI	12	MD-K15	VEL	R80	2500 - 100	204 seg	50 - 10	680 seg	31.25 - 10	1100 seg
AIMEI	12	PD-B	VOL	R160	2500 - 100	155 seg	25 - 10	1415 seg	15.62 - 10	2275 seg

El diseño de la pantalla HMI se realizó con base en la opinión de los operarios del equipo y el ingeniero a cargo del laboratorio de manera que se pueda satisfacer las necesidades de estos mediante el rediseño de la HMI, tanto los operarios como el ingeniero estuvieron de acuerdo con el diseño propuesto.

## Propuesta de programación del PLC

En la situación actual se denotó la programación con la que cuenta el PLC y se aprecia que el banco de pruebas que se analiza en este proyecto no cuenta con una programación que detenga automáticamente el proceso de ensayo, por lo que se tiene que realizar manualmente mediante el accionamiento de la válvula del ramal correspondiente, lo que genera poca precisión ya que si el operario por cualquier circunstancia no detiene el equipo, el volumen pasara por encima del deseado o por debajo en el caso contrario que lo detenga antes, este es uno de los puntos principales a resolver en este proyecto, para lo que se propone la inclusión de temporizadores de tipo TOF, que permitan accionar las válvulas de los ramales de prueba por un tiempo determinado que se ingresa desde la pantalla HMI por el operador.

Se realizó la inclusión de un temporizador en las señales que activan cada una de las válvulas de los ramales, en la figura 64 se puede observar la inclusión del temporizador que controla la señal de la válvula V04, utilizada para probar caudales Q3.

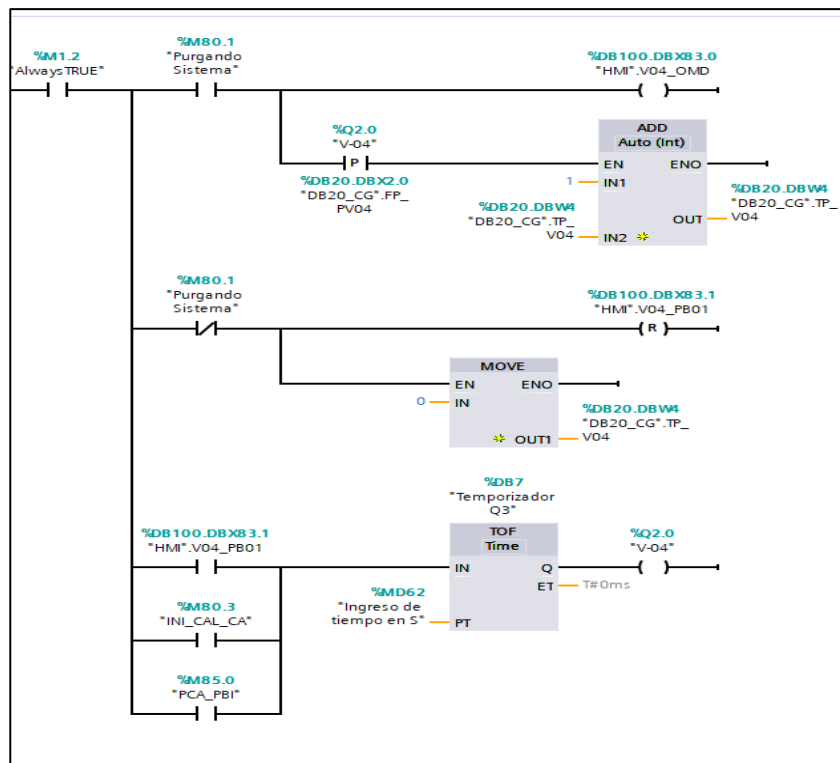


Figura 64. Temporizador de válvula para caudales Q3

Fuente: propia

En la figura 65 se puede ver la inclusión del temporizador que controla la señal de la válvula V06, utilizada para probar caudales Q2.

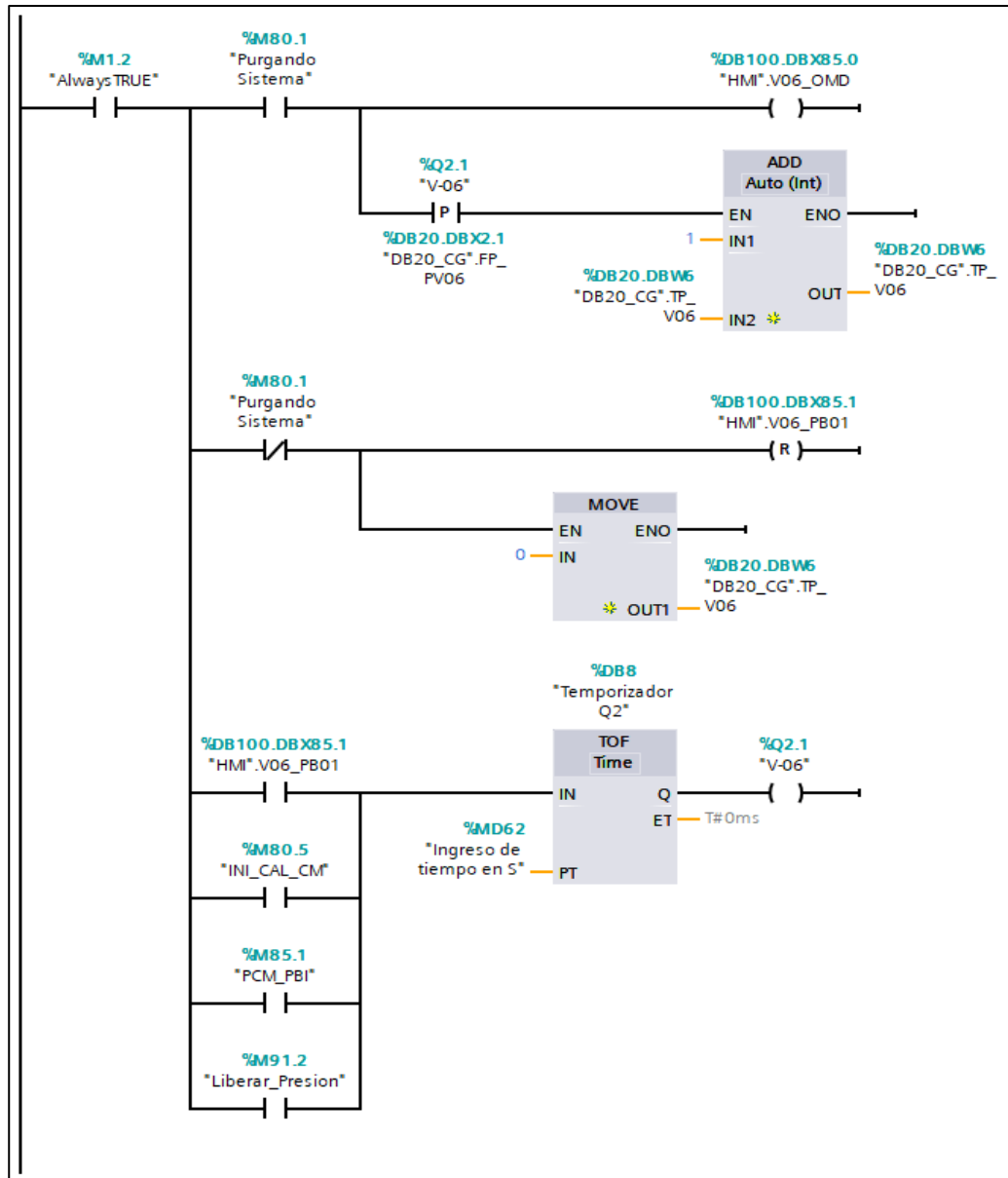


Figura 65. Temporizador de válvula para caudales Q2

Fuente: propia

En la figura 66 se puede notar la inclusión del temporizador que controla la señal de la válvula V08, utilizada para probar caudales Q1.

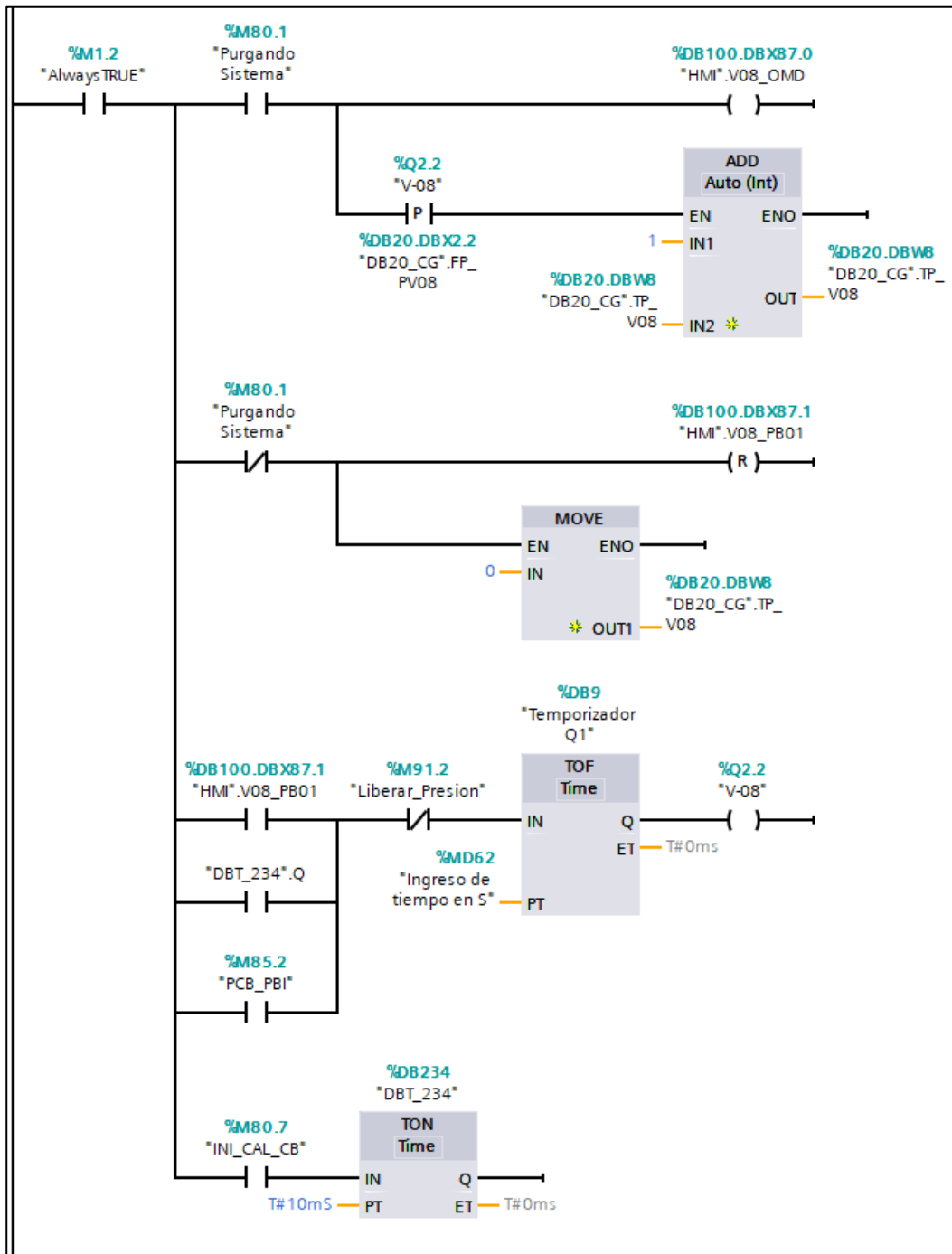


Figura 66. Temporizador de válvula para caudales Q1

Fuente: propia

En la figura 67 se puede notar la inclusión del temporizador que controla la señal de la válvula V10, utilizada para probar caudales de arranque QAR.

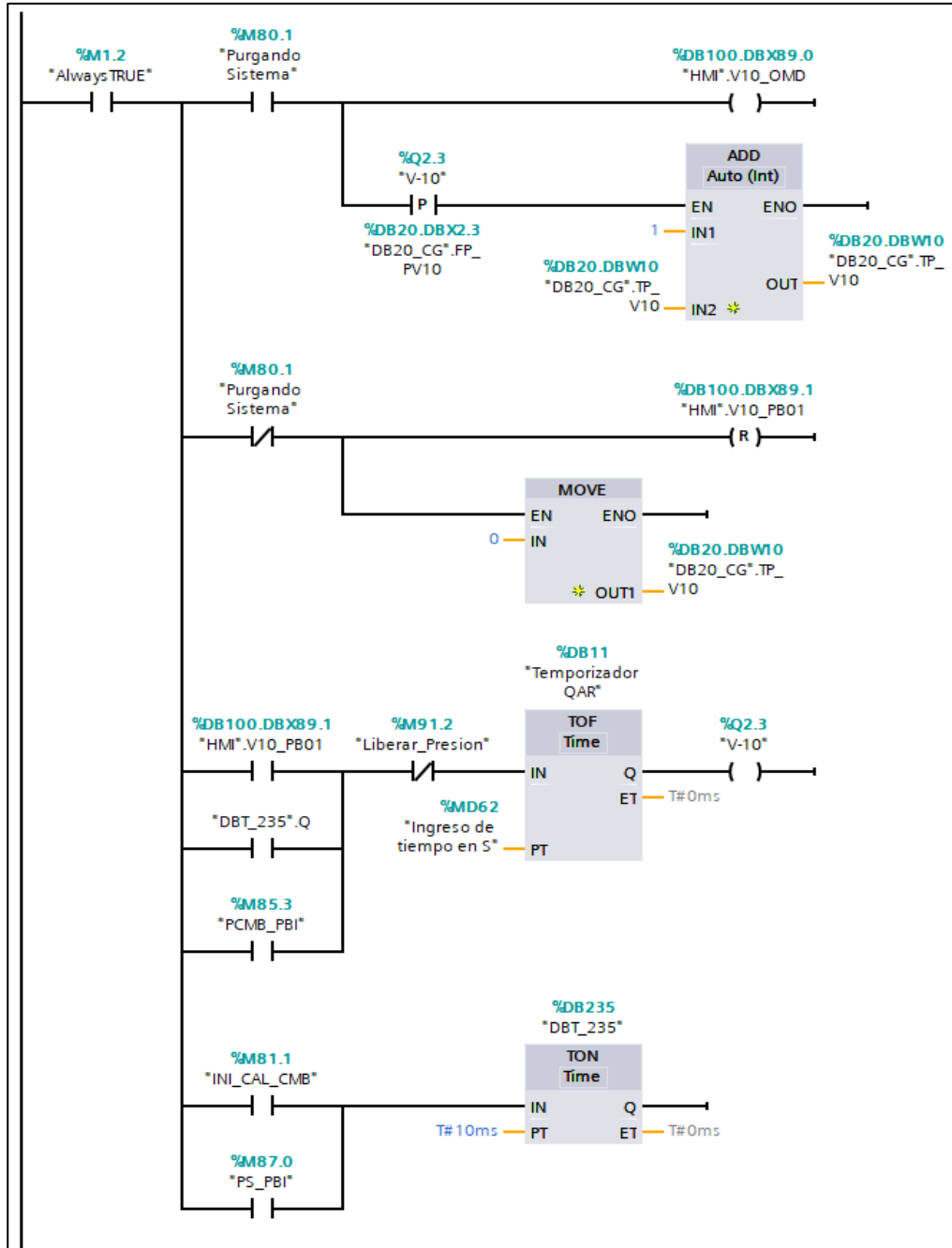


Figura 67. Temporizador de válvula para caudales QAR

Fuente: propia

En la figura 68 se puede notar todos los temporizadores incluidos en la programación, se realizó un segmento en la programación del PLC para cada uno de los controles temporizados, para separarlos del resto del control lógico para un mejor acomodo, adicionalmente se agregó la variable de salida en los temporizadores que se encuentra asociada al tiempo transcurrido en la pantalla HMI para visualizar el tiempo de prueba.

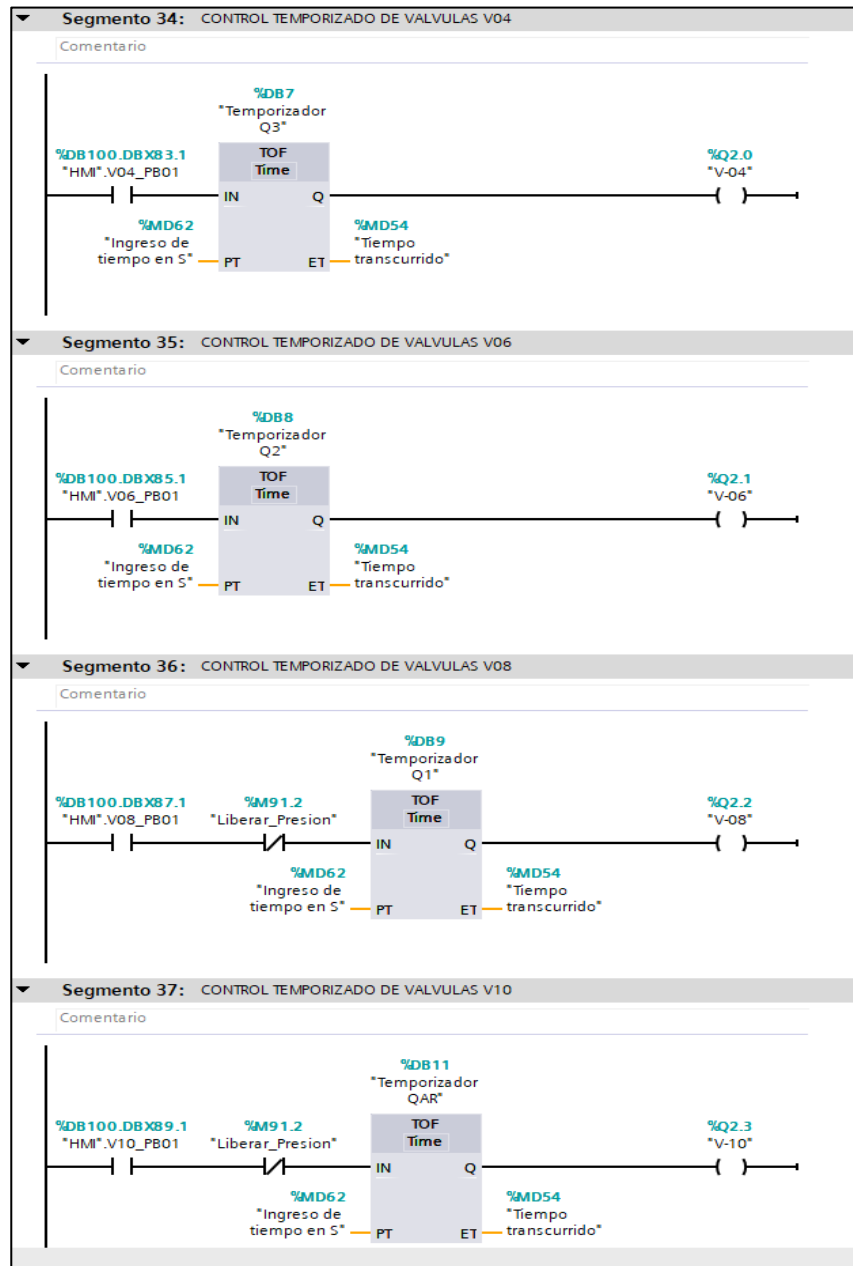


Figura 68. Segmentos de control temporizado de válvulas

Fuente: propia

## **Análisis financiero**

Se realizará un análisis de los costos de inversión, los gastos por operación y el ahorro anual que se vería reflejado con la implementación de este proyecto para determinar si el proyecto es rentable o no.

El laboratorio realiza 3 pruebas de ensayo diariamente, tomando el caso más crítico en el que se realizan 3 pruebas de medidores de clase metrológica C, el tiempo de prueba total sería de 200 minutos o 3 horas 19 minutos y 59 segundos diarios, durante este tiempo la bomba de recirculación se mantendría encendida, el motor de la bomba consume 0.37kW si se multiplica por 3.33 horas diarias se tiene 1.23kWh diarios a un costo de 44.92 colones según CNFL por cada kWh, sería un total de 55.25 colones diarios y si se multiplica x 22 días al mes representa 1215.5 colones mensuales, esto por 12 meses serían 14 586 colones al año de consumo eléctrico en la bomba de recirculación.

Nota: se toma un único costo del kWh debido a que el laboratorio solo realiza pruebas en horario de 6am a 10am, en este horario la tarifa del kWh no varía, también cabe aclarar que no se toman en cuenta para este cálculo las variaciones que podrían sufrir las tarifas durante el año por los cambios climáticos, para este cálculo se toma una tarifa única en la fecha del estudio para efectos prácticos.

Si se realizan los mismos cálculos para el caso de la bomba trabajando con los sensores propuestos, con un tiempo de uso diario de 5 minutos 28 segundos, se llega a un total de 399.28 colones anuales por el uso de la bomba de recirculación.

Para determinar el costo de repeticiones de pruebas anuales por falta de un sistema automático para detener el ensayo, se tomará como ejemplo el año en curso ya que ha sido uno de los más críticos en repetición de ensayos, para esto se hizo un filtrado en la matriz de ensayos de del banco de pruebas, en el transcurso del año se han realizado 344 repeticiones de caudales de prueba.

La sumatoria de tiempos da un total de 1044 horas, el valor de la hora de trabajo del operario es de 2522 colones la hora por lo que da un gasto total de 2 632 968 colones durante todo

el año en repeticiones de pruebas, este costo se puede estimar como una ganancia si se implementa la programación del PLC y el diseño de la pantalla HMI, ya que disminuiría la repetición de pruebas a cero repeticiones al año este monto depende directamente de la cantidad de repeticiones anuales.

El laboratorio realiza un limpieza interna mensual en tiempo extra a las válvulas neumáticas del banco de pruebas, debido a la mala calidad del aire, esto se debe a que anteriormente se han tenido que remplazar válvulas dañadas prematuramente por la baja calidad del aire y la falta de etapas de filtrado, este trabajo consta en desmontar las válvulas para realizar su limpieza interna y se lleva alrededor de 20 minutos por válvula, para una cantidad total de 7 válvulas, en total son 2.33 horas mensuales, el valor de la hora extra del operario que es la persona que realiza este trabajo es de 3 783 colones, si se multiplica por las 2.33 horas, da un total de 8 814.39 colones mensuales, lo que anualmente requiere de 105 772.68 colones.

Esta limpieza se podría reducir a solo una anualmente de manera preventiva, teniendo un costo de 8 814.30 colones, por lo que habría un ahorro de 96 958.29 colones anuales.

Nota: se toma en cuenta los costos de implementación y el costo de la programación mediante una cotización realizada por parte de la empresa PYRAMIS INGIENERIA, la cual proporciono los costos de la instalación del sistema de secado y filtrado, la implementación de los sensores de control de la bomba, la instalación de la UPS y el rediseño de la programación y la pantalla HMI, con un costo total de \$2,260.00 IVAI, esto representa un costo en colones de ₡1 185 288 IVAI. utilizando una tasa de cambio del ₡524 colones en el valor de la compra de dólares del BCCR tomada el día 31/01/2024.

Se realiza una tabla con los costos de cada ítem para determinar el valor total del costo de inversión necesario para la implementación de las mejoras descritas.

Tabla 2. Costo de inversión

Ítem	Cantidad	Costo en colones
Sensores para medición de nivel	2	¢59 425
Sistema de secado y filtrado para aire comprimido	1	¢1 378 431
UPS de respaldo para PLC y HMI	1	¢62 000
Costo de instalación y programación de equipos	1	¢1 185 288
Total		¢2 685 144

Tabla 3. Costos de operación del equipo sin las mejoras propuestas.

Actividad	Cantidad anual	Horas anuales	Costo anual
Costo de tiempo por repetición de ensayos	344	1044	¢2 632 968
Costo eléctrico por el uso de bomba de recirculación	1584	879	¢14 586
Costo del tiempo por mantenimientos a válvulas neumáticas	12	27.96	¢105 772.68
Total			¢2 753 326,68

El costo de la repetición de ensayos podría variar en base a la cantidad de repeticiones que se generen durante el año, para este análisis se tomó la repetición del año 2023 de enero a noviembre, ya que este año ha sido de los más críticos en repetición de pruebas.

Tabla 4. Costos de operación del equipo con las mejoras propuestas.

Actividad	Cantidad anual	Horas anuales	Costo anual
Costo de tiempo por repetición de ensayos	0	0	€0
Costo eléctrico por el uso de bomba de recirculación	528	24	€399.28
Costo del tiempo por mantenimientos a válvulas neumáticas	1	2.33	€8 814.30
Total			€9 213.58

Tabla 5. Ahorro de operación anual.

Actividad	Costo sin mejoras	Costo con mejoras	Ahorro anual
Costo de tiempo por repetición de ensayos	€2 632 968	€0	€2 632 968
Costo eléctrico por el uso de bomba de recirculación	€14 586	€399.28	€14 186.72
Costo del tiempo por mantenimientos a válvulas neumáticas	€105 772.68	€8 814.30	€96 958.29
Total			€2 744 113,01

Se evaluará la factibilidad de la propuesta con el indicador financiero CAUE (Costo Anual Uniforme Equivalente), si se propone que el proyecto se implemente en un intervalo de tiempo de 2 años a partir del 2024, para obtener el CAUE se debe calcular el Valor Actual Neto (VAN) y luego el CAUE, este procedimiento se realizara con ambos casos para determinar si realizar el proyecto es viable.

Para realizar los cálculos del CAUE se tomó la tasa de interés neta máxima de captación e inversión financiera de entidades públicas del Estado, del 07/11/2023 del Banco Central de Costa Rica, esta es de un 6.081% a 2 años.

Se analiza este proyecto, utilizando los datos de la tabla 5. Ahorro de operación anual.

Se realiza una tabla para representar los flujos de caja por los 2 años con las mejoras.

	Ahorro anual		
Inversión inicial	1	2	valor de rescate
₡2 685 144	₡2 744 113,01	₡2 744 113,01	₡0,00

La fórmula de VAN es la siguiente:

$$VAN = FF_0 + \frac{FF_1}{(1+k)} + \frac{FF_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{FF_n + VT}{(1+k)^n}$$

Remplazando los datos en la formula obtenemos el siguiente valor:

$$VAN = -2\,685\,144 + \frac{2\,744\,113,01}{(1+0.06081)} + \frac{2\,744\,113,01}{(1+0.06081)^2} = ₡2\,340\,187,73$$

La fórmula de CAUE es la siguiente:

$$CAUE = VAN \cdot \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

Remplazando los datos en la formula obtenemos el siguiente valor:

$$CAUE = 2\,340\,187,73 \cdot \left[ \frac{0.06081(1 + 0.06081)^2}{(1 + 0.06081)^2 - 1} \right]$$

$$CAUE = \text{¢}1\,277\,873,77$$

Viendo los valores que reflejan los cálculos del VAN y CAUE se puede decir que el proyecto es completamente viable, ya que el VAN es positivo lo que indica que llegara a generar ahorro, dado que es una institución pública no se pueden decir que generara ganancias pero si un ahorro económico y el CAUE es menor que los costos anuales de operación del laboratorio en este equipo, el costo de operación es de ¢ 2 753 326,68 anuales, mientras que el costo anual uniforme equivalente es de ¢1 277 873,77, por lo que se puede decir que es viable realizar este proyecto.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- La elaboración de una guía de pruebas de ensayo en el desarrollo del proyecto logro definir y explicar claramente todos los pasos a seguir para realizar las pruebas de ensayo, basado en el cumplimiento de la norma INTE ISO 4064, solventando la falta de un manual o guía que puedan tener al alcance los operarios del equipo para su consulta.
- Con el análisis e investigación realizada en la situación actual del equipo se dio a conocer todos los equipos e instrumentos que incorpora el sistema, pudiendo así evidenciar las carencias y fallos que presentaron cada uno de ellos, y con estas poder realizar una propuesta de mejora en los puntos clave donde se requería.
- La elaboración de un análisis de la programación que controla el equipo permitió entender cómo funciona la lógica de control presente en el PLC, con la que se logró rediseñar los puntos necesarios para implementar el parado temporizado del equipo y el rediseño del panel HMI que controlan los usuarios del laboratorio
- En el desarrollo del proyecto se logra determinar las mejoras requeridas en los equipos para mejor su funcionamiento como lo es la implementación del detenido automático de los ensayos que aportara mejoras muy importantes en cuanto las repeticiones de prueba, erradicando por completo este fallo, como también implementar un respaldo eléctrico para el panel de control del equipo para resguardar el PLC y la pantalla HMI de sufrir un daño por el suministro eléctrico, así como la implementación de un sistema de secado y filtrado del aire permite una mejor calidad del aire, lo cual fomenta la durabilidad de los equipos neumáticos y un costo por mantenimiento más bajo, la instalación de sensores de activación de la bomba de recirculación permite una mayor durabilidad de la bomba, un consumo energético disminuido y un menor ruido ambiente en el lugar de los ensayos.
- Los costos de los equipos nuevos, el ahorro anual que se genera con las mejoras propuestas y los resultados obtenidos con los cálculos del VAN y CAUE proporcionan un panorama claro de que el proyecto es completamente factible, incluso reduciendo el valor del costo anual de operación del equipo en un 53%.

## Recomendaciones

- Se recomienda que la implementación de lo descrito en el proyecto sea realizada por una empresa que cuente con el conocimiento y personal capacitado para empeñar dicha tarea, además de que se utilice el diseño que se está planteando en este proyecto.
- Se recomienda la modernización del equipo de control PLC, por uno moderno ya sea de la misma marca o de una casa comercial distinta que cumpla con las mismas características técnicas o mejores.
- Se recomienda que el proyecto se realice lo antes posible, para disminuir la repetición de ensayos, optimizar el funcionamiento y prolongar la vida útil del equipo, además de erradicar el riesgo de un daño en el PLC y HMI por una eventualidad en el suministro eléctrico.
- Se recomienda revisar y reparar la conexión entre la balanza y el equipo de manera que se puede utilizar para visualizar el nivel del tanque en la pantalla HMI.
- Se recomienda buscar a partir de este diseño una cotización formal dirigida a la institución, de todos los equipos incluidos y de la ingeniería requerida para la instalación y programación de los equipos.

## CAPÍTULO VI. PROPUESTA

Este proyecto pretende dar a conocer a la institución los puntos de mejora que se pueden implementar en el banco de pruebas semiautomático del laboratorio de flujo de agua del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, con los cuales se puede mejorar el servicio y la continuidad de este, a su vez optimizar el consumo de los recursos del estado, haciendo uso de estos de una manera controlada y responsable.

Se propone a la institución considerar la implementación de los sistemas diseñados ya que se realizó un extenso análisis de los sistemas que incorpora el banco de pruebas para realizar una propuesta que se adapte de la mejor manera a las necesidades del banco de pruebas.

Se realiza un análisis del funcionamiento de la lógica de control que utiliza el banco de pruebas, con la cual se logró implementar temporizadores en la lógica que controla la apertura y cierre de las válvulas de los distintos caudales de ensayo.

Se realiza el presupuesto del sistema para que la institución obtenga un monto aproximado de la solución propuesta con la cual se puedan apoyar para solicitar una cotización formal dirigida a la institución que incluya todos los costos de instalación y programación.

Para finalizar, se propone no obviar las conclusiones establecidas en este trabajo ya que de implementarse en la institución las mejoras propuestas, se estarían ahorrando una gran cantidad de costos anuales y se estaría mejorando el proceso de los ensayos dando una mejor continuidad del servicio que brinda la institución al país.

## Referencias

- Agua para consumo humano. (13 de septiembre de 2023). Organización Mundial de la Salud. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- APC Back-UPS 1200VA, 120V, AVR. (s. f.). APC.  
<https://www.apc.com/cr/es/product/BVX1200L-LM/apc-backups-1200va-120v-avr/>
- ARCO. (2019, septiembre 24). Tipos de válvulas para agua potable. válvulas arco. [https://blog.valvulasarco.com/tipos-de-valvulas-para-aguapotable#:~:text=Para%20agua%20potable%2C%20los%20tipos,las%20de%20mari%20posa%20\(obturador\).](https://blog.valvulasarco.com/tipos-de-valvulas-para-aguapotable#:~:text=Para%20agua%20potable%2C%20los%20tipos,las%20de%20mari%20posa%20(obturador).)
- Compresores, K. (s. f.). KRYOSEC: un pequeño secador refrigerativo para aire comprimido. KEASER COMPRESORES. <https://cr.kaeser.com/productos-y-soluciones/tratamiento-de-aire-comprimido/secadores/secadores-refrigerativos/secadores-refrigerativos-aire-comprimido-compactos-kryosec/>
- De las Heras, S. (2011). Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas. SERVICE POINT. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36653/9788476538937.pdf>
- Dumrauf, G. L. (2006). Cálculo financiero aplicado (2da. edición). Editorial La Ley. [http://fepi.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/39/2014/12/FEP\\_Lopez\\_Dumrauf\\_Cap.-10.pdf](http://fepi.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/39/2014/12/FEP_Lopez_Dumrauf_Cap.-10.pdf)
- IBPcal. (s. f.). Banco de Pruebas Compacto para medidores tamaño DN15. IBPcal. <https://ibpcal.com/es/modelo-q3>
- INTECO. (2015). INTE/ISO 4064. Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica.
- Meter, B. (2020, marzo 24). medidores de flujo electromagnéticos. Badger Meter. <https://www.badgermeter.com/es-es/blog-informacion-privilegiada/los-pormenores-de-los-medidores-de-flujo-electromagneticos/#:~:text=Losmedidoresdeflujoelectromagn%C3%A9ticossommedidor esdeflujovolum%C3%A9trico,medidorduranteunplazodeterminado.>
- SIEMENS. (2018). Manual del sistema S7 Controlador programable S7-1200. [https://media.automation24.com/manual/es/91696622\\_s71200\\_system\\_manual\\_es-ES\\_es-ES.pdf](https://media.automation24.com/manual/es/91696622_s71200_system_manual_es-ES_es-ES.pdf)

- SIEMENS. (s. f.). TIA Portal – more than an engineering framework. SIEMENS. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:1fabad633be301cb7d501dfcbb aee3f6094a153/dffa-b10161-01-7600.pdf>
- Sole, A. C. (1997). Instrumentación industrial (Sexta edición). MARCOMBO, S.A. <https://docs.google.com/file/d/0By66F5fcMg4eMzRmNTdhZTItZDA4NS00ODIxLTk0MjctMTk4M2MyOTkwY2E1/view?resourcekey=0-jcaYEs1IDQsrk1PUj2554w>
- Solé, A. C. (2007). Neumática e hidráulica. MARCOMBO, S.A. PDF DRIVE <https://es.pdfdrive.com/neum%C3%A1tica-e-hidr%C3%A1ulica-e175973960.html>
- Mettler-Toledo International Inc. all rights reserved. (2022, octubre 6). Terminales de pesaje ICS4\_5. [https://www.mt.com/mx/es/home/products/Industrial\\_Weighing\\_Solutions/Terminals-and-Controllers/terminals-bench-floor-scales/basic-bench-floor-applications/ICS4\\_5.html](https://www.mt.com/mx/es/home/products/Industrial_Weighing_Solutions/Terminals-and-Controllers/terminals-bench-floor-scales/basic-bench-floor-applications/ICS4_5.html)
- Banco central de Costa Rica. (2023, noviembre 7). Tasas de interés netas máximas de captación e inversiones financieras de entidades públicas del Estado. <https://gee.bccr.fi.cr/indicadoreseconomicos/Cuadros/frmVerCatCuadro.aspx?idioma=1&CodCuadro=%202832>
- UNAD. (2005). EVALUACIÓN DE COSTO ANUAL EQUIVALENTE (CAUE). UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA - UNAD. [https://www.emagister.com/uploads\\_user\\_home/Comunidad\\_Emagister\\_922\\_COSTO\\_ANUAL\\_EQUIVALENTE\\_-CAUE-.pdf](https://www.emagister.com/uploads_user_home/Comunidad_Emagister_922_COSTO_ANUAL_EQUIVALENTE_-CAUE-.pdf)

## Anexos

*Anexó 1. Banco de pruebas para medidores de agua DN15.*



*Anexó 2. Tanque elevado para caudales por gravedad.*



Anexó 3. Compresor



Anexó 4. Bomba de recirculación.



Anexo 5. Panel de potencia.



Anexó 6. Tanque hidroneumático.



Anexó 7. Tanque principal de 2500l.



Anexó 8. Panel de control.



*Anexó 9. Tanque de medición y tanque de captación de sólidos.*



Anexo 10. Oferta económica.

		OFERTA				
OFERTA ECONOMICA						
Pos.	Descripción	Material	Cantidad UM	Precio unitario USD	Dto. %	Total USD
10	<b>Secador Refrigerativo</b>					
	<b>KRYOSEC TAH 7 115/1/60</b>	1.2407.10100	1.000 PZA	2,687.00	5.00	2,552.65
	Pais de instalación	Costa Rica				
	Tipo	TAH 7				
	Conexión eléctrica	115V / 1 / 60Hz				
<b>PRECIO TOTAL</b>						<b>2,552.65</b>
	IVA		13.00 %			331.84
<b>Importe de la factura USD</b>						<b>2,884.49</b>

**Garantía**  
Secador 18 meses a partir de la fecha de envío o 12 meses a partir de la fecha de arranque, aplica para el intercambiador de calor (evaporador) y el resto del equipo.

Se entrega con el equipo su respectivo manual original. La instalación se contrata por separado, pero se incluye el arranque inicial, pruebas de funcionamiento del compresor, instrucción para la operación y la asesoría en la instalación de los equipos.

30 días Credito

**Entrega(Incoterms@2020)**  
EXW Bodegas Kaeser Costa Rica

**Validez de la oferta:**  
24.12.2023

**Plazo de entrega**  
De 19 a 21 semanas, después de recibida la orden de compra y confirmación de pedido.

Flete:  
Estos precios son válidos puestos los equipos en su planta, con un cargo adicional descrito en la oferta.  
No se incluye Montacargas, se recomienda tener preparado uno de 2 Toneladas.

De ser aceptada la oferta, por favor generar Orden de Compra o reenviar esta Oferta firmada y sellada como comprobante de su autorización

*El ahorro de*  
**energía**  
*preserva el medio ambiente y los recursos*

OFERTA 86912463 - Instituto Costarricense de Acueducto 6 / 7

## Anexo 11. Oferta económica.

**ELECTRO MAZ LTDA**

Sucursal Guápiles  
3-102-186909  
TIBAS, 150 metros Sur de la Plywood Park  
40002997  
ventas@mazcr.com

**Cotización No.00135026**

<b>Cliente:</b>	Emanuel Ríos Montero	<b>Vendedor:</b>	VENDEDOR GENERAL
<b>Teléfono:</b>	+50688903679	<b>Correo:</b>	
<b>Contacto:</b>		<b>Teléfono:</b>	
<b>Dirección:</b>	SAN JOSE - SAN JOSE /	<b>Moneda:</b>	Colones
<b>Email:</b>	contabilidad@mazcr.com	<b>Tipo Pago:</b>	Contado
<b>Fecha:</b>	26-10-2023	<b>T. Entrega:</b>	ENTREGA INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	02-20-035	4715003990000	SENSOR CAPACITIVO CR 10-30VDC DIAM.18MM SENS.8MM SAL PNP NA	1.00	29,712.54	29,712.54

<b>Monto en letras:</b>	TREINTA Y TRES MIL QUINIENTOS SETENTA Y CINCO CON 17/100
<b>Validez de Cotización:</b>	15
<b>Fecha de Vencimiento:</b>	26/10/2023
<b>Términos y condiciones</b>	Para facturaciones a crédito, es necesario recibir su orden de compra. Proyectos, fabricaciones y producto especial, aplica el tiempo de entrega a partir del pago por anticipo de 50%. Las garantías de nuestros productos están sujetas a las condiciones de fábrica.

<b>Subtotal:</b>	¢	29,712.54
<b>Descuento:</b>	¢	0.00
<b>Total:</b>	¢	29,712.54
<b>Impuesto:</b>	¢	3,862.63
<b>Otros cargos:</b>	¢	0.00
<b>Total Neto:</b>	¢	33,575.17

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra interpretación de su requerimiento, por favor revisar que cumpla con su necesidad.

**Números de cuenta:****BN colones****CUENTA CORRIENTE: 100-01-000-213349-4**

Cuenta Cliente: 15100010012133490

Cuenta IBAN: CR57015100010012133490

**BN dolares****CUENTA CORRIENTE: 100-02-000-617343-9**

Cuenta Cliente: 15100010026173435

Cuenta IBAN: CR64015100010026173435

Por favor hacer referencia del número de cotización en su orden de compra o depósito.

## Anexo 12. Oferta económica.



The screenshot shows a product page for an APC BVX1200L-LM UPS. The page layout includes a navigation menu at the top, a breadcrumb trail, a product image, a title, a price, a quantity selector, and an 'Add to cart' button.

**extremetech**  
EL ÚLTIMO EMPUJÓN EN TU ALCANCE

COMPUTADORAS ▾ COMPONENTES ▾ PERIFÉRICOS ▾ ACCESORIOS ▾ CELULARES ▾ MAS... ▾ PROMOCIONES ▾

Inicio / COMPONENTES / REGULADORES Y UPS / APC BVX1200L-LM - 1200VA

### APC BVX1200L-LM - 1200VA

Estado: Producto nuevo

Marca: **APC**

Capacidad: **1200 VA**

**650W / 1200VA**

**6 Tomas con protección, 4 con respaldo**

Impresión

**₡ 62,000**

Cantidad

1 - +

**Añadir al carrito**

Ver más grande 🔍



EM20240131-01

San José, 31 de Enero del 2024

**PROYECTO:** Cotización por servicios de mano de obra para instalación electromecánica para el proyecto denominado **"Instalación de equipo electromecánico en banco de pruebas para medidores"** ubicado en sede AyA, La Uruca – San José.

### 1. Descripción del proyecto

Instalación de un sistema de secado y filtrado en el sistema de suministro de aire comprimido, realizar la implementación de un sistema de control para una bomba de recirculación con sensores capacitivos, implementar sistema de respaldo UPS para salvaguardar PLC y HMI, realizar modificaciones en la programación del PLC para incorporar un detenido automático del equipo y realizar un rediseño de la interfaz HMI.

### 2. Estimación de costos de la opción del proyecto

Con base en la solicitud formal y de acuerdo con los costos unitarios manejados por nuestra empresa se ha estimado el costo del proyecto:

#### COSTO DEL PROYECTO

SERVICIO SUBCONTRATO	<b>\$2,000.00</b> (DOS MIL DÓLARES EXACTOS)
VALOR AGREGADO IMPUESTO	<b>\$260.00</b> (DOSIENTOS SESENTA DÓLARES EXACTOS)
<b>COSTO TOTAL</b>	<b>\$2,260.00 IVAI</b> (DOS MIL DOSCIENTOS SESENTA DÓLARES EXACTOS)

### 3. Alcance de la oferta



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
San José, Costa Rica  
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-3393 - emrios@aya.go.cr

**MEMORANDO**  
**No.UEN-ID-2023-00530**

**FECHA:** 8 de noviembre del 2023

**PARA:** Jorge Merizalde Dobles  
UEN Investigación y Desarrollo

**DE:** Emanuel Rios  
UEN Investigación y Desarrollo

**ASUNTO:** Autorización de información institucional para uso en tesis de graduación

---

Estimado director Jorge Merizalde Dobles, solicito de su autorización para utilizar datos pertenecientes al laboratorio, para usarlos en mi tesis para optar por el bachillerato en ingeniería electromecánica, en el caso de mi tesis únicamente utilizaré la matriz de prueba del banco 1, eliminando las columnas de NIS, numero de medidor y numero de orden para proteger la confiabilidad de la información. Con esta información puedo evidenciar la repetición de pruebas y la falta de una programación para detener automáticamente el banco de pruebas.

Firmado digitalmente por  
EMANUEL RIOS MONTERO (FIRMA)  
Fecha y hora: 08/11/2023 11:02 AM



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
San José, Costa Rica  
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-5910 - [jmerizalde@aya.go.cr](mailto:jmerizalde@aya.go.cr)

**MEMORANDO**  
**N.º UEN-ID-2023-00543**

**FECHA:** 09 de noviembre de 2023

**PARA:** Emanuel Ríos Montero  
UEN Investigación y Desarrollo

**DE:** Firmado digitalmente por  
JORGE GUILLERMO MERIZALDE DOBLES (FIRMA)  
Fecha y hora: 09/11/2023 07:29 AM  
UEN Investigación y Desarrollo

**ASUNTO:** R/UEN-ID-2023-00530 - Autorización uso información institucional para tesis

---

En respuesta a su oficio UEN-ID-2023-00530, por este medio autorizo a Ud. el uso de la información contenida en la matriz de pruebas del banco n.º 1 del Laboratorio de Flujo de Agua (LFA), con el fin de evidenciar la repetición de pruebas y la necesidad de una programación para el parado automático de este banco.

Es importante mencionar que, tanto en su documento de tesis, como en cualquier otro que Ud. produzca con base en esta información, debe eliminarse la columna de número de identificación del servicio (NIS) con el fin de proteger la confidencialidad de la información de los clientes del AyA.