

**UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE LAS AMÉRICAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
BACHILLERATO EN INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**“APERTURA TEMPORIZADA EN BANCOS DE PRUEBA DE MEDIDORES DE  
CAUDAL DN15 HASTA DN20 PARA EL LABORATORIO DE FLUJO DEL  
INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS”**

**AUTOR**

**Jeffry Alejandro Benavides Arroyo**

**TUTOR**

**Ing. Gilbert Mora**

**SEDE CENTRAL**

**San José, mayo, 2023**

## Tabla de Contenido.

Dedicatoria.....	6
Agradecimientos .....	7
Resumen.....	8
Limitaciones.....	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....	10
Planteamiento del Problema .....	10
Objetivo General.....	10
Objetivos Específicos.....	10
Justificación .....	11
Antecedentes .....	12
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	21
5.Rotámetros .....	33
Actuador neumático SERIES 92/93 DE BRAY .....	36
Especificaciones .....	37
7.Válvulas .....	38
8.Balanzas .....	41
11.Temporizador .....	50
Indicadores Financieros .....	57
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO .....	61
Enfoque de investigación .....	61
Fuentes de información.....	61
Análisis Financiero .....	87

Propuesta.....	92
Conclusiones.....	93
Recomendaciones .....	94
Anexos .....	95
REFERENCIAS.....	102

## Índice de Figuras

Ilustración 1:Monitoreo de flujos (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México.) .....	21
Ilustración 2:Perfil de los Fluidos (Jose Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México.) .....	22
Ilustración 3:Representación de flujo laminar (Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. editorial medica panamericana) .....	22
Ilustración 4:Representación de flujo turbulento (Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. editorial medica panamericana) .....	23
Ilustración 5:Fórmula ecuación de Reynolds, INTE/ISO12242:2017 .....	26
Ilustración 6:Principio de medición .....	30
Ilustración 7:Rotámetros en ramales de banco#2 .....	33
Ilustración 8:(Fuente: <a href="http://www.areatecnologia.com/NEUMATICA_archivos/circuito-neumatico.PNG">http://www.areatecnologia.com/NEUMATICA_archivos/circuito-neumatico.PNG</a> ).....	35
Ilustración 9:Actuador neumático BRAY CONTROLS de Costa Rica. ....	36
Ilustración 10:(JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV.) .....	38
Ilustración 11:(JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV) .....	38
Ilustración 12:(JIS. (2023). Tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV).....	39
Ilustración 13:(JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV) .....	40
Ilustración 14:(Medición y calibración de instrumentos de la magnitud masa. PROCAME).....	41
Ilustración 15:Principio de Arquímedes .....	45
Ilustración 16:Comparación de masas mediante una balanza.....	47
Ilustración 17:Panel de control de válvula neumática .....	48
Ilustración 18:Fuente de voltaje.....	49
Ilustración 19:Símbolo fuente de voltaje DC: .....	50
Ilustración 20:AUTONICS. (s/f). CT6S-2P AUTONICS. ....	50
Ilustración 21:(PLC LOGO Siemens).....	52
Ilustración 22: relé de contacto -Image Search Results . (Dakota del Norte .....	54
Ilustración 23:Tipos de fusibles .....	55
Ilustración 24:medidor de agua ARAD DN15 clase metrológica B.....	56

Ilustración 25:Matriz de prueba de medidores DN15 del Laboratorio de Flujo del AyA. ....	70
Ilustración 26:Matriz de prueba de medidores DN15 del Laboratorio de Flujo del AyA. ....	71
Ilustración 27:Banco de pruebas medidores DN15 (Laboratorio de Flujo).....	72
Ilustración 28:Bancada de pruebas #2 Ford DN15, 6 medidores. ....	73
Ilustración 29: Actuador neumático Bray CONTROLS.....	74
Ilustración 30:Figura 18: Diseño del panel de control en programa CADE SIMU (diseño propio) .....	74
Ilustración 31:Toma de medidas para puerta de panel de control .....	76
Ilustración 32:Colocación de equipos a lo interno del panel .....	77
Ilustración 33:Ensamble y prueba de equipos. ....	77
Ilustración 34:Panel de control ensamblado. ....	78
Ilustración 35:Instalación de válvula neumática.....	78
Ilustración 36:Tabla de tiempos para prueba de medidores.....	85

## **Dedicatoria**

*A mis padres Gerardo Benavides Mejías y Alba Nidia Arroyo  
Segura que han estado conmigo desde el inicio de esta aventura,  
por su apoyo y amor incondicional y a mi mismo por nunca tirar  
la toalla, siempre seguir adelante y demostrarme todo lo que  
puedo lograr.*

## **Agradecimientos**

*Primeramente, a Dios, por darme las fuerzas para nunca abandonar el proceso a pesar de las adversidades.*

*A mi familia, amigos, por haber confiado en mi y darme todo su apoyo.*

*A mi padre Gerardo Benavides Mejías, por nunca dudar de mi y darme su apoyo y consejos hasta el final, hacerme creer en mi y en todas las cosas que puedo lograr con esfuerzo y de la mano de Dios, el hombre que soy hoy en día es gracias a ti, te amo padre.*

*A mi madre Alba Nidia Arroyo Segura por siempre estar para mí, apoyarme y aconsejarme en este proceso, te amo madre.*

*A mi hermano Steven Benavides, por darme todo su apoyo y creer en mi y mis propósitos, por estar en los momentos difíciles, te amo hermano.*

*A mi hermana Wendy Benavides, ya no estás acá con nosotros, pero aún recuerdo tus consejos, palabras, risas que con tanto amor nos diste, acá cumpla mi promesa que te hice de terminar mi formación profesional, al cielo un abrazo y un beso, te amo hermana.*

## Resumen

Los bancos de prueba de medidores del laboratorio de flujo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, a los que se les decide hacer estas modificaciones tienen alrededor de veinticinco o treinta años aproximadamente, utilizando rotámetros que su calibración es sumamente costosa y por banco se contaba al menos con tres rotámetros para regulación de caudal. Además, se tenían que calibrar dos tanques de almacenamiento de agua como patrón volumétrico.

Estos bancos siendo banco dos y tres respectivamente al ser los más antiguos no contaban con ningún tipo de equipo automatización eléctrica o mecánica, por lo que se tomó la decisión de automatizarlo parcialmente y ponerlo rumbo a la acreditación sobre la norma 17025 que gestiona el laboratorio de flujo.

Inicialmente se pretende eliminar los rotámetros y se colocaron dos medidores de caudal ultrasónicos de diámetro DN15 Y DN25 respectivamente, también se eliminó el patrón volumétrico en los tanques y se pasó a utilizar como un depósito para pesar el agua de manera gravimétrica colocado sobre una balanza previamente calibrada, además anteriormente se usaba para regular caudales bajas válvulas de compuerta por lo que se cambió por válvulas de aguja para una mayor precisión a la hora de regular caudal y ejecutar un ensayo a los medidores.

Los bancos de prueba al ser completamente mecánicos, los analistas de los ensayos a medidores deben estar pendientes del nivel del agua en el tanque para que no rebalse y poder cerrar la válvula de manera manual de manera oportuna observando un cronometro.

Debido a esta problemática se va a instalar una válvula neumática por banco de prueba junto a un panel de control que cuenta con protecciones de corriente y un reloj temporizador externo de fácil programación para la activación de un relé al que está conectada dicha válvula.

Con este panel de control y dicha válvula se va a programar por segundos la duración de la prueba, inicialmente se regula el caudal y por medio de una formula en una matriz donde se toma en cuenta el caudal y el peso al que debe llegar la balanza se calculan los segundos de prueba. De esta manera las pruebas finalizan de manera automática y los analistas pueden observar más el comportamiento de los hidrómetros durante un ensayo, así como la eliminación de la repetición de las pruebas debido a cierres no oportunos de las antiguas válvulas mecánicas.

Se espera aumentar la producción de pruebas en el laboratorio ya que dichas pruebas son de suma importancia porque resuelven problemas de facturación en el recibo de agua.

### **Limitaciones**

- El alcance de prueba de estos bancos es para medidores desde DN15 hasta DN19.
- Los equipos se adaptarán a las condiciones de estos bancos de prueba, no se van a realizar modificaciones de espacio físico significativas.
- Se utilizará presupuesto asignado del año anterior sin contemplarse este proyecto, mediante modificaciones de presupuesto.
- Los medidores a los que se les realiza la prueba no pueden ser limpiados para la ejecución de esta.

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **Planteamiento del Problema**

¿Cómo reducir la repetición de pruebas a medidores de caudal utilizando equipos electromecánicos temporizados para mejorar el tiempo de respuesta del Laboratorio de Flujo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados?

### **Objetivo General**

Reducir la repetición de pruebas a medidores de caudal utilizando equipos electromecánicos temporizados para mejorar el tiempo de respuesta del Laboratorio de Flujo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

### **Objetivos Específicos**

- Identificar las carencias electromecánicas del sistema mediante un levantamiento de equipos actuales y una comparación de fichas técnicas usadas en la actualidad por otros laboratorios acreditados para el cumplimiento de la norma INTE/ISO 17025.
- Seleccionar los equipos necesarios con base en un análisis de las fichas técnicas y manuales para realizar el diseño del panel.
- Aumentar la precisión y capacidad de las pruebas realizadas mediante la implementación de equipos electromecánicos con tecnología para optimizar pruebas de ensayo y así agilizar la cola de reclamos y mejorar tiempos de respuesta a los reclamos presentados por abonados al departamento de financiero por errores de facturación.
- Realizar una evaluación financiera mediante la estimación de costos del proyecto, así como el aumento de productividad.

## **Justificación**

La neumática, la hidráulica y sobre todo la automatización son herramientas que son utilizadas desde hace años en diferentes procesos industriales para mejorar y agilizar su producción. La industria en general ha alcanzado un alto nivel de automatización y, si en las primeras etapas de las aplicaciones de la automatización, esta se desarrollaba dentro de procesos cerrados, en la actualidad se tiende a hacerlos funcionar en sistemas abiertos, de tal manera que un proceso industrial basado en un sistema de control de distribución con uso de autómatas junto a otros elementos programables, ya son partes inherentes al sistema y de gran importancia para mejorar la producción en la que se aplique. Es de gran importancia la producción del laboratorio de flujo ya que estas pruebas son utilizadas para tomar una decisión de temas financieros en cuanto a los reclamos que realizan los abonados al AYA con su respectivo NIS asociado a un medidor instalado en sus viviendas o comercios, dichos reclamos son presentados mayormente por irregularidades en sus recibos de agua mensuales.

Esta modificación en dos bancos en los que se prueban diariamente medidores de diámetro DN15 hasta DN19 tiene como objetivo disminuir la repetición de pruebas dado que contaba con equipos mecánicos muy antiguos, funcionando con patrones volumétricos los Analistas debían estar pendientes del nivel del patrón para que la prueba fuera valida, por errores humanos muchas veces los tanques con patrón volumétrico se rebalsan o se pasan de la medida que debe tener la prueba porque se tenía que cerrar la válvula de salida de agua hacia el patrón volumétrico de manera manual y oportuna. Esto generaba una repetición de la prueba de los 6 medidores que es la capacidad de ambos bancos por caudal a evaluar, generando una disminución considerable en la producción del laboratorio.

El equipar estos bancos de prueba con equipos eléctricos y mecánicos temporizados trae múltiples beneficios, las pruebas finalizan de manera automática una vez regulado el caudal y el tiempo, ya que se eliminó el patrón volumétrico y se usaron los mismos, pero de manera gravimétrica colocados sobre una balanza previamente calibrada los analistas pueden estar más pendientes de los medidores y su comportamiento que del patrón volumétrico para ejecutar la prueba.

Esta modificación pone los bancos de prueba en camino a una acreditación que se está gestionando actualmente en el laboratorio en la norma ISO17025, esto para garantizar un resultado parcial y con una incertidumbre identificada.

Los equipos son de muy fácil programación por lo que el personal lo utiliza con facilidad y seguridad, además tienen menos contacto con equipos de aperturas mecánicas que generan un riesgo de algún tipo de lesión.

## **Antecedentes**

### **Antecedente No.1**

Título: Diseño de un laboratorio de mandos neumáticos para la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica.

Autor: Fabara López Kevin Marvin.

Institución: Escuela Politécnica Nacional.

Año: 2018.

En este trabajo se estudia ampliamente las válvulas neumáticas, su diseño y limitaciones de espacio físico para desarrollarlo, el siguiente proyecto será utilizado para obtener información sobre los equipos que se van a utilizar.

Además, en la página 28 se toman en cuenta ciertas consideraciones para la elección de los equipos por lo que se va a analizar para la adquisición de estos, tales como fichas técnicas y referencias bibliográficas.

### **Antecedente No.2**

Título: Diseño y construcción de un módulo electroneumático clasificador, controlado por PLC.

Autores: Jiménez Labor Israel Francisco, Henríquez Hernández José Alejandro, Rivera Reyes Alex Alfonso.

Institución: Universidad del Salvador.

Año: 2014.

El diseño de sistemas de aire y sus componentes, además de ser controlados por un PLC, nos brindará un mejor panorama de los sistemas actuales utilizados para la automatización con equipos neumáticos. El uso de un PLC puede traer múltiples beneficios a el sistema, se analizará este beneficio, así como su costo para considerarlo viable.

En el presente trabajo se describió con buen detalle el diseño, funcionamiento y construcción del módulo clasificador mencionado para las diferentes actividades que ha de realizar. El módulo funciona, en términos generales de la siguiente manera:

1. Es alimentado a través de un elemento apilador de piezas, para el caso, "probetas" fabricadas de "teflón" y de acero 1020" de diferentes tamaños, los cuales son puestos sobre una banda transportadora, accionada por un motor de C/D; dichas probetas al desplazarse sobre la banda son censadas por unos captadores ubicados adecuadamente para su función.

2. Los sensores (O captadores, como también se conocen), de acuerdo con la disposición, dan señal de lectura (controlados por el autómeta) para accionar unas piezas separadoras, las que desvían las piezas en su desplazamiento sobre la banda hacia unas rampas, donde se dividen de acuerdo con el tamaño y material de las probetas.

3. En las cercanías de las rampas están ubicados otros sensores que realizan el conteo de las piezas que llegan a las rampas, de manera que se complete un ciclo de censado, y de acuerdo con cómo se programe el autómeta, se podrá hacer la clasificación de piezas por ciclos finitos o infinitos si así se requiere.

Estas funciones que el módulo realizó son un ejemplo claro de aplicación de autómetas, sensores, piezas separadoras y demás elementos que se utilizan en la industria en general.

### **Antecedente No.3**

Título: Diseño e implementación de un banco de pruebas electroneumático, para mejorar el aprendizaje de los estudiantes de la universidad politécnica salesiana.

Autor: Álvaro Vinicio Andrade Espín, Luis Roberto Quintero Plaza.

Institución: Universidad Politécnica Salesiana.

Año: 2014.

En este trabajo se definió ampliamente el beneficio de usar equipos de apertura neumática, por lo fueron utilizados para identificar los beneficios que traen estos equipos al laboratorio. Al ser un laboratorio utilizan normas internacionales por lo que muchos procesos tienen similitud a los del laboratorio de flujo.

La Universidad Politécnica Salesiana, es un centro de educación superior, consciente de los problemas que tiene la comunidad estudiantil, y de la necesidad de formar un profesional integral que sea práctico, con alta moral y ético. Ante ello, se llegó a la conclusión

que se debía tener un laboratorio en el cual haya un módulo que pueda realizar y ejecutar las prácticas neumáticas en la carrera de ingeniería en electricidad, para que los estudiante tengan una mejor vinculación en la solución de los problemas que se encuentran cuando estén trabajando en las industrias u otros.

#### **Antecedente No.4**

Título: Acondicionamiento del banco de bombas de la universidad santo Tomás, incorporando sensores de caudal y presión para la identificación de la curva característica de desempeño.

Autor: Andrés Felipe Micolta Moreno.

Institución: Universidad Santo Tomás, Bogotá D.C.

Año: 2019.

Se explica ampliamente el uso de bombas, sensores de caudal y presión por lo que va a ser tomada dicha información como referencia en las bombas utilizadas para los bancos de prueba de medidores DN15 hasta DN19.

Esta en los proyectos la sustitución de estas bombas en el laboratorio por lo que se tomara la información para dejar una recomendación de cuáles serían las bombas más adecuadas para el momento de una sustitución por demanda y mejora del sistema.

Por lo anterior; este trabajo de grado optó por realizar un cambio en la estructura física del banco de bomba, con el objetivo de disminuir las dimensiones del equipo, la cantidad de tubería que este empleaba, estandarizar el diámetro de las tuberías e implementar un sistema de automatización y control compuesto por un PLC Siemens S7 1200, una pantalla HMI Siemens KTP 700, transductores de presión Danffoss, un sensor de caudal y un sensor de nivel en el tanque de agua que funciona como un seguro en caso de que el tanque no cuente con la cantidad de agua suficiente para asegurarla protección delas bombas evitar que trabajen en vacío. Finalmente se obtuvo un banco con mejores prestaciones el cual aparte de tener menos área tiene mejores experiencias a la hora de obtener practicas por medio de un sistema de control y automatización eficiente, debido a que este puede ser controlado directamente desde la pantalla HMI, el cual nos permite observar en tiempo real la presión y caudal de cada una de las bombas y a la vez permite obtener los datos de la práctica en un archivo aparte para generar la curva característica de cada bomba.

## **Antecedente No.5**

Título: Diseño de un banco de ensayo para la medición de flujo de agua basado en la norma técnica colombiana NTC 1063.

Autor: Andrés Ricardo Latorre Carvajal.

Institución: Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, Facultad de Ingeniería Electrónica.

Año: 2018.

La medición de caudal, así como la pérdida en accesorios de tubería. Las pérdidas de presión debido a los diferentes recorridos del flujo, se utilizó una herramienta de software SolidWorks, que va a ser utilizada como referencia. La norma NTC1063 contiene una gran cantidad de información acerca de la medición de flujo en bancos de ensayo, toda esta información va a fortalecer la toma de decisiones a la hora de seleccionar equipos y tomar decisiones respetando la norma nacional vigente en Costa Rica.

Se propuso el diseño de un banco para la medición de flujo de agua bajo la norma NTC 1063, que abarca los aspectos de equipos, métodos de ensayos, especificaciones de los medidores y requisitos de instalación. El banco propuesto debe cumplir dos objetivos, el primero que puedan realizar ensayos de diferentes tecnologías para el censado del flujo, estos medidores pueden ser mecánicos o electrónicos o una combinación de ambos, otra práctica que se puede realizar en el banco es la calibración de medidores por el aspecto metrológico que brinda la norma NTC 1063-3 con los dispositivos de referencia de calibrado. Como segundo objetivo el banco propuesto debe incluir un equipo para la demostración de pérdidas de presión debido a los diferentes recorridos del flujo, el efecto de la velocidad del caudal, efecto de diferentes materiales o rugosidades de la superficie, obstáculos producidos por válvulas y accesorios. El diseño del banco se realizó con la herramienta de software SolidWorks, las medidas de las tuberías, la ubicación de los accesorios, la instrumentación y la automatización requerida, se apoyó en la norma NTC 1063 junto con las recomendaciones del fabricante del medidor electromagnético Proline Promag 50w. Se investiga las características de los fluidos, las diferentes técnicas para la medición de flujo, se estudió la norma NTC 1063, Se realizaron cálculos de caídas de presión para obtener datos teóricos que es una de las prácticas de laboratorio que se pueden realizar en el banco propuesto y para más adelante estos resultados puedan ser comparados con los datos experimentales.

### **Antecedente No.6**

Título: Automatización de un sistema de irrigación por goteo auto compensado mediante un controlador de válvulas hidráulicas accionadas por señal de radio.

Autor: Giovanni Montero Delgado

Institución: Universidad de Costa Rica.

Año: 2021.

En este proyecto se abarca la automatización en válvulas, así como el control remoto de las mismas, por lo que se va a analizar los equipos utilizados, también abarco temas de seguridad ocupacional en temas hidráulicos, por lo que se analizara dicha información.

El trabajo realizado en este documento tiene como base una metodología que realiza una empresa, es un método de prueba y error utilizado para seleccionar la ubicación del sistema de automatización, lo cual ha presentado una serie de inconvenientes debido a que se suele adquirir una cantidad mayor de equipo del que realmente se necesita; por lo cual, surge la necesidad de presentar una metodología novedosa que agilice el proceso mientras se propone un diseño funcional y optimizado. Esta investigación está enfocada en crear una nueva metodología que considera el diseño hidráulico previamente concebido que adapte el sistema de automatización de radiocontrol sin realizar modificaciones a sistemas previamente instalados. Esta nueva metodología de control responde a las características topográficas del terreno a la topología de la red hidráulica, para corroborar que las presiones del sistema sean las correctas y que la cantidad de radio antenas sea el mínimo. Así mismo, se plantea que todas las válvulas reguladoras funcionen acorde al turno de riego correspondiente, corroborando que el tiempo total de riego sea el adecuado y que la lámina de agua distribuida sea la necesaria.

### **Antecedente No.7**

Título: Desarrollo del procedimiento de calibración de radiómetros y los requisitos técnicos para demostrar competencia técnica de un laboratorio de calibración según los lineamientos de la norma ISO/IEC 17025:2017.

Autor: José Andrés Pereira Barquero.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Año: 2017.

Se analiza profundamente la trazabilidad metrológica de los equipos, por lo que este proyecto va a ser utilizado como referencia ya que el laboratorio debe asegurar en el resultado de los ensayos trazabilidad metrológica bajo la norma ISO 17025, se verificara que todo procedimiento o modificación a realizar se encuentre dentro de la normativa para no afectar el proceso de acreditación del laboratorio.

### **Antecedente No.8**

Título: Diseño de un sistema digital para control de costos de mano de obra por actividades para una empresa constructora.

Autor: Pablo Murillo Araya.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Año: 2019.

Se pretende ver de qué manera abordan el costo de mano de obra y materiales para así evidenciar el costo de los equipos adquiridos para los bancos de prueba de una manera óptima y clara para evidenciar el bajo costo y gran beneficio que traerá este proyecto para la sociedad.

Adicionalmente, se observó que no existe una retroalimentación de la construcción a los encargados de los presupuestos, quienes no registran los datos de una forma que puedan ser aprovechados por el departamento de presupuestos para actualizar sus bases de datos y mantener rendimientos al día; esto, para hacer estimaciones de costos más exactas. Otra situación que se identificó es el hecho que entre departamentos y entre los mismos proyectos manejan catálogos de actividades diferentes, lo cual evita que la información sea fácilmente comparable. Además, debido a que se registran los costos de diferente forma, se impide que se puedan consolidar bases de datos, así como generar análisis estadísticos de la información recopilada de varios proyectos.

## **Antecedente No.9**

Título: Evaluación de riesgos y elaboración de un plan de salud ocupacional para un laboratorio de análisis fisicoquímico.

Autor: Luis Gerardo Chaves Papili.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Año: 2017.

El objetivo principal de este proyecto es mitigar riesgos laborales, mediante listas de verificación y el ¿Qué pasa si...?, se tomara esta información para mejorar el tema de salud ocupacional en equipos neumáticos que se usan diariamente en el laboratorio y de esta manera informar al personal del uso correcto de estos nuevos equipos y de esta manera prevenir accidentes.

El objetivo principal del presente proyecto de graduación fue el evaluar los riesgos y diseñar un Plan de Salud Ocupacional para un laboratorio de análisis químico. Se utilizaron las “listas de verificación “como una de las herramientas de evaluación, mismas que se elaboraron considerando todas las áreas del laboratorio y las actividades que en él se realizan; así como el método ¿Qué pasa si...? para el cual se formó un grupo de expertos, con la ayuda del personal del laboratorio. Con la ayuda de los instrumentos de análisis seleccionados y la elaboración del Plan de Salud Ocupacional, se generan programas específicos para la atención de las siguientes áreas: Orden y Limpieza, Higiene Ocupacional, Ergonomía, Primeros Auxilio, Protección Personal, Prevención y Protección de Incendios y Atención de Emergencias; de tal manera que, a través de estos, se puedan abordar y corregir algunas deficiencias tales como: instruir a los empleados sobre los riesgos presentes en el laboratorio, adquirir extintores tipo ABC, adquirir e instalar una ducha de emergencia y una fuente lavajos, adquirir o construir una capilla de gases con extractor, colocar la señalización necesaria en todas las áreas de la empresa, realizar revisiones periódicas de la instalación eléctrica del edificio por parte de un profesional electricista, adquirir equipos anatómicos para los empleados como sillas ajustables, instalar un tanque de agua potable para las actividades del laboratorio, adquirir un gabinete para el almacenamiento de líquidos inflamables, elaborar una matriz de riesgo químico específica para los reactivos utilizados en el laboratorio, y agua potable embotellada con dispensador para consumo de los empleados. Una vez determinadas las deficiencias se realizó una estimación preliminar de la inversión necesaria para subsanar las mismas. Se consultaron proveedores nacionales e internacionales y se concluyó que el costo de la inversión es de aproximadamente ₡4,548,000.00(\$8,120.00al tipo de cambio de

¢560.00por dólar).Se recomienda que la empresa nombre una comisión multifuncional constituida tanto por personal del laboratorio como la gerencia de la empresa, misma que tendría a su cargo la implementación del plan de Salud Ocupacional que se propone.

### **Antecedente No.10**

Título: Evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua.

Autora: Susan Mora Castro.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Año: 2022.

Se pretende visualizar todas las tecnologías utilizadas para desinfección de agua, ya que la norma ISO/IEC 17025:2017 especifica que los ensayos a medidores deben ser realizados únicamente con agua potable.

### **Antecedente No.11**

Título: Análisis hidráulico de flujo transitorio en sistemas de conducción a presión.

Autora: Susan Mora Castro.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Año: 2020.

En este proyecto se estudian las gráficas de presión en función del tiempo dependiendo del diámetro de la tubería, los bancos de prueba del laboratorio de flujo tienen un suministro de una pulgada, sin embargo, en los ramales de calibración de caudal contamos con reducciones de diámetros por lo que se va a estudiar el uso correcto de esta combinación de diámetros, válvulas y medidores de caudal.

## **Antecedente No.12**

Título: Diseño de sistema de medición y monitorización de la cantidad de material de un basurero de reciclaje.

Institución: Universidad de Costa Rica.

Autor: Steven Josué Quiel Hidalgo.

Año: 2021.

Abarcan temas de medición y pesaje con diferentes equipos, por lo que esta información será utilizada como referencia ya que el laboratorio utiliza balanzas calibradas para el pesaje del agua en el ensayo.

El proceso de monitorización que utilizan garantiza un proceso cerrado y una recolección de datos muy efectiva.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 1. Flujo

Los fluidos desempeñan un papel muy importante debido a que nos rodean por completo y siempre se está en una constante relación con ellos, por ejemplo: el océano los ríos, la sangre que fluye por el sistema cardiovascular y el combustible de los vehículos. No solo se tiene un flujo en líquidos también lo hay cuando se quiere transportar gaseosos como son el oxígeno, la atmósfera, el nitrógeno ECT. En la figura 1 se puede apreciar la distinta instrumentación y tubería que se necesita para control y transporte de fluidos. (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México.)



Ilustración 1: Monitoreo de flujos (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México.)

La mecánica de fluidos se encarga del estudio y el comportamiento, tanto en reposo como en movimiento de los fluidos, mientras la hidráulica es una derivación de la mecánica de fluidos que analiza, experimenta con los movimientos y los equilibrios de los fluidos, especialmente con el agua. El objetivo de desarrollo de la tesis es proponer un diseño para la automatización parcial de dos bancos para la medición del flujo de agua, en el cual solo se estudiará este tipo de fluido. Así el flujo tiene las unidades de masa o volumen por unidad de tiempo y se denota por la letra  $Q$ . Ver ecuación 1. (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México)

$$\text{Ecuación 1.} \quad Q = \frac{m}{t} \quad \text{o} \quad Q = \frac{v}{t}$$

Q: Caudal                      t: tiempo                      v: volumen                      m: masa

**1.2 Clasificación de los fluidos.** Encontramos flujo laminar o estacionario, flujo turbulento, flujo permanente o no permanente, así como flujo uniforme y no uniforme, ver figura 2. (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México)

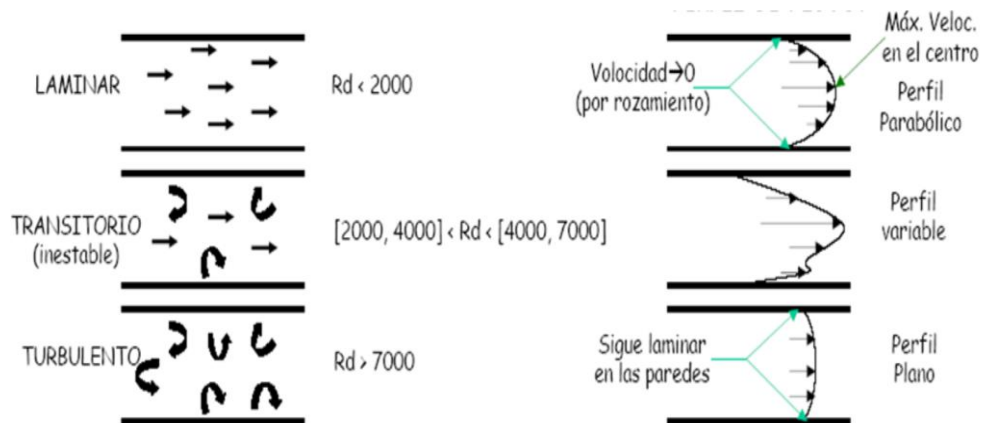


Ilustración 2: Perfil de los Fluidos (Jose Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. universidad nacional autónoma de México.)

**a. Flujo Laminar o Estacionario.** Si un flujo posee una velocidad constante se dice que tiene un comportamiento estacionario y este hecho se debe a que las capas de moléculas del fluido se mueven una junto a otra uniformemente, siendo un movimiento ordenado. Cuando el fluido tiene mayor viscosidad mayor es su tendencia a tener un flujo laminar, como se muestra en la figura 3. (Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. Editorial Médica Panamericana)

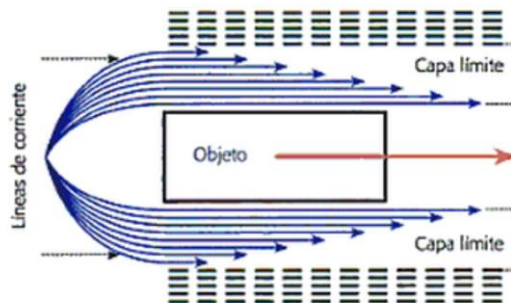


Ilustración 3: Representación de flujo laminar (Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. editorial medica panamericana)

**b. Flujo Turbulento.** Se produce cuando llevamos a límite la máxima velocidad del fluido, dejando de comportarse linealmente permitiendo patrones irregulares y complejos ver figura 4, se caracteriza por círculos erráticos pequeños como si fueran remolinos, llamados corrientes parasitas secundarias. El flujo turbulento normal es aquel que se presenta cuando la velocidad del fluido es mayor de 2000 número de Reynolds, pero menor de 2500, en este estado pueden existir tanto laminar como turbulento. El flujo turbulento irregular es cuando la velocidad del fluido es mayor de 2500 número de Reynolds. (Pablo Estrella, H. R. (2009). Física 2. Editorial Cengage Learning)

**c. Flujo Ideal.** Se debe tener unas condiciones dadas para poder concluir que el comportamiento de un fluido es ideal como son: primero que no debe tener fricción en otras palabras su viscosidad es nula y que no es turbulento, por lo que no hay una conversión de energía mecánica en térmica durante su movimiento. Segundo el fluido es incomprensible esto quiere decir que ni su masa ni el volumen de él, pueden cambiar estando aun así bajo presión. Si un fluido ideal esta inicialmente en reposo, se puede demostrar que todas las partículas deben continuar teniendo la misma energía mecánica total. Este tipo de fluido se llama potencial o irrotacional. (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. Universidad Nacional Autónoma de México)

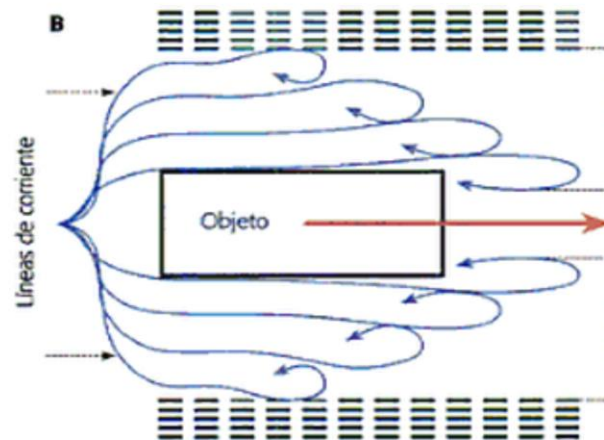


Ilustración 4: Representación de flujo turbulento (Izquierdo, M. (2008). Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte. editorial medica panamericana)

**d. Flujo Permanente y Uniforme.** Un flujo es permanente siempre y cuando las mediciones en cualquier punto son iguales y no cambian con el tiempo, la misma definición se debe aplicar al pensar la densidad, la presión y la temperatura en el fluido, y no es permanente cuando la medida en algún punto cambia con el tiempo. Ejemplo si bombea agua con un flujo constante a través de una tubería, pero si varía con el tiempo el flujo ya no se comportaría permanentemente. Un flujo uniforme cuando en cualquier punto del fluido el vector velocidad es idéntico tanto en magnitud, dirección y sentido en un instante dado. (José Pedro Agustín, V. N. (2005). Apuntes de física general. Universidad Nacional Autónoma de México)

## **2. MEDICIÓN DE FLUJO**

### **2.1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN**

Esta norma (INTE/ISO 12242:2017) especifica los requisitos y recomendaciones para los caudalímetros ultrasónicos de líquidos, que utilizan el tiempo de tránsito de señales de ultrasonido para medir el flujo de líquidos homogéneos en conductos cerrados.

No hay límites en los tamaños mínimos o máximos del medidor. Esta norma especifica las características de funcionamiento, calibración y de salida de los medidores ultrasónicos (MUS) para la medición de flujo de líquido y se ocupa de las condiciones de instalación.

Contempla la instalación con y sin sistema exclusivo para la prueba (calibración). Cubre tanto en línea, como transductores de sujeción (utilizado en configuraciones en el que el haz no es refractado y en aquellos en los que se refracta). Incluidos ambos medidores: los integrados en el cuerpo del medidor y los medidores con transductores instalados en campo. (INTECO, 2017, p. 4)

### **2.2. TÉRMINOS Y DEFINICIONES**

A los efectos de este documento, los términos y definiciones dados en la Norma ISO 4006 y los siguientes.

#### **2.2.1 caudal volumétrico**

$$Q_v$$
$$q_v = dV/dt$$

Donde:

V= Volumen

T= Tiempo

#### **2.2.2 Presión en la medición**

Presión del fluido absoluta en un medidor bajo condiciones de flujo a la las que el volumen indicado de líquido está relacionado.

#### **2.2.3 Número de Reynolds**

Parámetro adimensional que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y viscosidad.

### 2.2.4 Número de Reynolds en la tubería

Parámetro adimensional que expresa la relación entre las fuerzas de inercia y viscosidad en la tubería. (INTECO, 2017, p. 5)

$$Re_D = \frac{\rho v_p D}{\mu} = \frac{v_p D}{\nu_{kv}}$$

Donde

$\rho$ : es densidad de masa

$v_p$ : es velocidad media en la tubería

$D$ : es el diámetro interno de la tubería

$\mu$ : es la viscosidad dinámica.

$\nu_{kv}$ : es la viscosidad cinemática.

Ilustración 5:Fórmula ecuación de Reynolds, INTE/ISO12242:2017

## 3. Estadísticas

### 3.1 Error

Valor de la cantidad medida menos el valor de la cantidad de referencia.

### 3.2 Repetibilidad (de los resultados de medición)

Grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando realizadas en las mismas condiciones de medición.

### 3.3 Resolución

Diferencia más pequeña entre las indicaciones de un medidor que se puede distinguir de manera significativa.

### 3.4 Lectura de flujo a cero

Lectura del caudalímetro cuando el líquido está en reposo, por ejemplo, los componentes de velocidad tanto axiales y no axiales son esencialmente cero.

### 3.5 Incertidumbre (de medición)

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente al mensurando.

Nota 1. El parámetro puede ser, por ejemplo, una desviación típica (de un múltiplo dado de la misma), o de la mitad de la anchura de un intervalo con una probabilidad de cobertura.

Nota 2. La incertidumbre de medida comprende, en general, muchos componentes. Algunos de estos componentes pueden ser evaluados a partir de la distribución estadística de los resultados de las series de mediciones y pueden caracterizarse por desviaciones típicas experimentales. Los otros componentes, que también pueden ser caracterizados por desviaciones típicas, se evalúan de distribución de probabilidades asumidas en base a la experiencia u otra información.

Nota 3. Se entiende que el resultado de la medición es la mejor estimación del valor del mesurando, y que todos los componentes de la incertidumbre, incluidos los derivados de efectos sistemáticos, tales como los componentes asociados con correcciones y patrones de referencia, contribuyen a la dispersión. (INTECO, 2017, p. 5)

### **Tabla 1. Símbolos**

<b>Cantidad</b>	<b>Símbolos</b>	<b>Dimensiones<sub>a</sub></b>
Área de la sección transversal del cuerpo del medidor	A	L <sup>2</sup>
Velocidad del sonido en el fluido	c	LT-1
Diámetro interno del cuerpo del medidor	d	L
Diámetro de la tubería interna	D	L
El módulo de Young	E	ML-1T-2
Función de las velocidades de trayectoria	f	-
Los números enteros (1,2,3, ...)	i, j, n	-
Factor de calibración	K	-
Factor de corrección extremo del cuerpo	K <sub>E</sub>	-
Factor de trayectoria de geometría	K <sub>g</sub>	L b o LT-1 c
Factor de corrección perfil de velocidad	K <sub>p</sub>	-
Factor de corrección de estilo de la carrocería	K <sub>S</sub>	-
La distancia mínima a una perturbación del flujo aguas arriba especificada	l <sub>min</sub>	L
La longitud de la trayectoria	l <sub>p</sub>	L
Presión absoluta	p	ML-1T-2
Caudal de volumen	q <sub>V</sub>	L <sup>3</sup> T-1
Radio interior de las tuberías	r	L
Radio externo de la tubería	R	L
Número de Reynolds de la sección reducida	Re <sub>d</sub>	-
El número del tubo Reynolds Re <sub>D</sub>	Re <sub>D</sub>	-
Desviación máxima porcentual en el caudal medido debido a aguas arriba	S	-
Temperatura absoluta del líquido	T	Θ
El tiempo de tránsito	t	T
Tiempo de retraso	t <sub>0</sub>	T
Transductor separación axial	X	L
Coefficiente de expansión térmica	α	Θ-1
Espesor de pared de la tubería	δ	L
Viscosidad dinámica	μ	ML-1T-2
Viscosidad Cinemática	ν <sub>k</sub>	L <sup>2</sup> T-1
Densidad del líquido	ρ	ML-3
El coeficiente de Poisson	σ	-
Ángulo entre la trayectoria de ultrasonidos y eje de la tubería	∅	-

**a** M = masa; L=Longitud; T=Tiempo; Θ = Temperatura

**Tabla 2. subíndices**

<b>Subíndices</b>	<b>Significado</b>
cal	bajo condiciones de calibración
med	medido (no corregido)
op	bajo condiciones de operación
real	real (corregido)

## **4. PRINCIPIOS DE MEDICIÓN ULTRASÓNICA**

### **4.1 Descripción**

El caudalímetro ultrasónico de tiempo de tránsito es un dispositivo de muestreo que mide velocidades discretas de trayectoria utilizando uno o más pares de transductores. Cada par de transductores es colocado a una distancia conocida,  $l_p$ , separados, uno aguas arriba del otro (ver Figura 1). Los transductores aguas arriba y aguas abajo envían y reciben pulsos de ultrasonido intermitentes, a los cuales se refiere como transmisión contra propagación, y el tiempo de llegada es utilizado en el cálculo del promedio de la velocidad axial,  $v$ . En cualquier instante dado, la diferencia entre la velocidad aparente de sonido en un líquido en movimiento y la velocidad del sonido en ese mismo líquido en reposo es directamente proporcional a la velocidad instantánea del líquido. Como una consecuencia, una medida del promedio de la velocidad axial del líquido a lo largo de la trayectoria puede ser obtenida a través de la transmisión de una señal ultrasónica a lo largo de la trayectoria en ambas direcciones y posteriormente la medición de la diferencia de tiempo de tránsito.

El caudal volumétrico de un líquido fluyendo en un conducto completamente lleno y cerrado, es definido como la velocidad promedio del líquido sobre una sección transversal, multiplicado por el área de la sección transversal. Por lo tanto, mediante la medición de la velocidad promedio del líquido a lo largo de una o más trayectorias ultrasónicas (es decir, líneas, no área), y combinando las mediciones, con conocimiento del área de la sección transversal y la velocidad de perfil sobre la sección transversal, es posible obtener un estimado del caudal volumétrico del líquido en el conducto. (INTE/ISO 12242:2017)

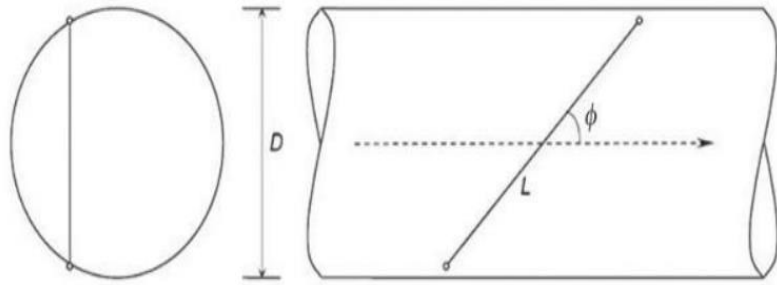


Ilustración 6:Principio de medición

Algunas técnicas pueden ser utilizadas para obtener una medida del promedio de velocidad efectiva de una señal ultrasónica en un líquido en movimiento, a fin de determinar el promedio de velocidad axial del flujo a lo largo de una línea de trayectoria ultrasónica. Sin embargo, la técnica normal aplicada en los MUS modernos es la técnica diferencial de tiempo directo. [12]

Las bases de esta técnica es la medición del tiempo de tránsito de señales ultrasónicas como se propagan entre un transmisor y un receptor. La velocidad de propagación de la señal ultrasónica es la suma de la velocidad del sonido,  $c$ , y la velocidad del flujo en la dirección de propagación. Por tanto, el tiempo de tránsito aguas arriba (ar) y aguas abajo (ab) pueden expresarse de la siguiente manera: (INTECO, 2017, p. 12)

$$t_{fl\_ar/ab} \approx \int_{l=0}^{l_p} \frac{1}{c + v_l \cdot n} \cdot dl$$

Donde

$C$ : es la velocidad del sonido en el fluido

$n$ : Es el vector unitario normal del frente de onda.

$V_l$ : Es el vector de velocidad del flujo en la ubicación,  $l$ , sobre la trayectoria  $l_p$

Nota. Esto es correcto si el transmisor estas aguas arriba o aguas abajo.

Con los supuestos de que la velocidad del flujo está en la dirección axial solamente, y de que  $v_i \ll c$ , donde  $v_i$  es la media de la velocidad del flujo axial sobre la línea  $i$  de trayectoria ultrasónica, luego los tiempos de tránsito aguas arriba y aguas abajo pueden ser expresados como sigue:

$$t_{fl\_ar} = \frac{l_p}{c - v_i \cos \phi}$$

$$t_{fl\_ab} = \frac{l_p}{c + v_i \cos \phi}$$

Reordenando los términos y despejando para  $v_i$  dado

$$\frac{1}{t_{fl\_ab}} - \frac{1}{t_{fl\_ar}} = \frac{t_{fl\_ar} - t_{fl\_ab}}{t_{fl\_ar} t_{fl\_ab}} = \frac{2v_i \cos \phi}{l_p} \quad [12]$$

$$v_i = \frac{l_p}{2 \cos \phi} \frac{\Delta t}{t_{fl\_ar} t_{fl\_ab}}$$

Donde

$L_p$  es la distancia entre transductores.

$\Delta t$  es la diferencia en los tiempos de tránsito.

$\Phi$  es el ángulo de inclinación de la señal ultrasónica con respecto a la dirección axial del fluido.

La velocidad de sonido puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\frac{1}{t_{fl\_ab}} + \frac{1}{t_{fl\_ar}} = \frac{t_{fl\_up} + t_{fl\_dn}}{t_{fl\_ab} t_{fl\_ar}} = \frac{2c}{l_p}$$

$$c = \frac{l_p (t_{fl\_ar} + t_{fl\_ab})}{2 t_{fl\_ar} t_{fl\_ab}}$$

(INTECO, 2017, p. 13).

## 4.2 Volumen del caudal

Las **mediciones de las trayectorias independientes de velocidad** se combinan por una función matemática para producir una estimación de la velocidad promedio en el cuerpo del medidor:

$$v = f(v_1, \dots, v_n)$$

Donde  $n$  es el número total de trayectorias.

Debido a las variaciones en las configuraciones de las trayectorias y a diferentes enfoques al resolver la fórmula (8), incluso para un número dado de trayectorias, la forma exacta de  $f(v_1, \dots, v_n)$  puede variar.

La relación entre la velocidad media de la tubería y las velocidades de las trayectorias medidas dependen del perfil del flujo. En un flujo totalmente desarrollado, el perfil de este depende únicamente del número de Reynolds y de la rugosidad de la tubería.

Una posible solución es calcular la velocidad promedio como una suma ponderada de las trayectorias de velocidad y aplicarles al factor de perfil de velocidad,  $k_p$ , para compensar por los cambios en el perfil. El valor de  $k_p$  es calculado por un algoritmo que toma en cuenta el régimen de flujo (laminar, de transición y turbulento), así como otras variables de proceso son requeridas. (INTECO, 2017, p. 13)

$$v = k_p \sum_{i=1}^n w_i v_i$$

El caudal volumétrico  $q_v$  está dado por:

$$q_v = Av$$

Donde

$v$  es la estimación de la velocidad promedio

$A$  es el área de la sección transversal del mesurando.

Nótese que al incrementar  $n$  se puede reducir la incertidumbre asociada con las variaciones del perfil de flujo.

## 5. Rotámetros

El rotámetro es un caudalímetro industrial que se usa para medir el caudal de líquidos y gases. El rotámetro consiste en un tubo y un flotador. La respuesta del flotador a los cambios de caudal es lineal, y un rango de flujo de 10 a 1 es estándar. En el caso de los rotámetros de laboratorio OMEGA™, es posible aún más flexibilidad a través del uso de ecuaciones de correlación. El rotámetro es popular debido a que tiene una escala lineal, un rango de medición relativamente largo y una baja caída de presión. Es fácil de usar y simple de instalar y mantener.

La operación del rotámetro se basa en el principio de área variable: El flujo de fluido eleva el flotador en un tubo ahusado, lo que aumenta el área para el paso del fluido. Cuanto mayor es el flujo, más alto se eleva el flotador. La altura del flotador es directamente proporcional al caudal. Con líquidos, el flotador se eleva por una combinación de la flotabilidad del líquido y la altura equivalente de velocidad del fluido. Con los gases, la flotabilidad es despreciable, y el flotador responde solo a la altura equivalente de velocidad.



Ilustración 7: Rotámetros en ramales de banco#2

El flotador se mueve hacia arriba o hacia abajo en el tubo en proporción al caudal de fluido y el área anular entre el flotador y la pared del tubo. El flotador alcanza una posición estable en el tubo cuando la fuerza ascensional que ejerce el fluido en movimiento es igual a la fuerza gravitatoria hacia abajo que ejerce el peso del flotador. Un cambio en la caudal afecta este equilibrio de fuerzas. El flotador luego se mueve hacia arriba o hacia abajo, y cambia el área anular hasta que nuevamente alcanza una posición en la que las fuerzas están en equilibrio. Para satisfacer la ecuación de fuerzas, el flotador del rotámetro supone una posición distinta para cada caudal constante. Sin embargo, es importante señalar que debido a que la posición del flotador depende de la gravedad, los rotámetros deben estar orientados y montados verticalmente. (*Rotámetros*. (s/f). Omega.com. Recuperado el 7 de noviembre de 2023, de <https://mx.omega.com/prodinfo/caudalímetros-area-variable.html>)

## **6. Neumática**

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y que éste ha utilizado y utiliza para ampliar sus recursos físicos. De los antiguos griegos procede la expresión "Pneuma", que designa la respiración, el viento, desde el punto de vista filosófico, también el alma. Como derivación de las ideas que representa la palabra "Pneuma" se obtuvo, entre otras cosas el concepto Neumática, que trata los movimientos y procesos del aire. (ROLDÁN, José. 2003. *Neumática, Hidráulica y electricidad aplicada*. Madrid-España: Paraninfo, 2003, pp. 59, 61)

Para comprender el amplio uso de esta tecnología, y aunque después se verá más con detalle, expliquemos brevemente el porqué del uso de la Neumática. Algunas de sus ventajas principales son:

- El aire es de fácil captación y abunda en la tierra.
- Es un tipo de energía limpia.
- El aire no posee propiedades explosivas, por lo que no existen riesgos de chispas.
- Las velocidades de trabajo de los elementos neumáticos son razonablemente altas y de relativa facilidad de regulación.

- El trabajo con aire no provoca efectos de golpes de ariete, con lo que no daña los componentes de un circuito.
- Las sobrecargas no constituyen situaciones peligrosas o que dañen los equipos en forma permanente.

Un circuito básico de neumática está formado por los siguientes componentes

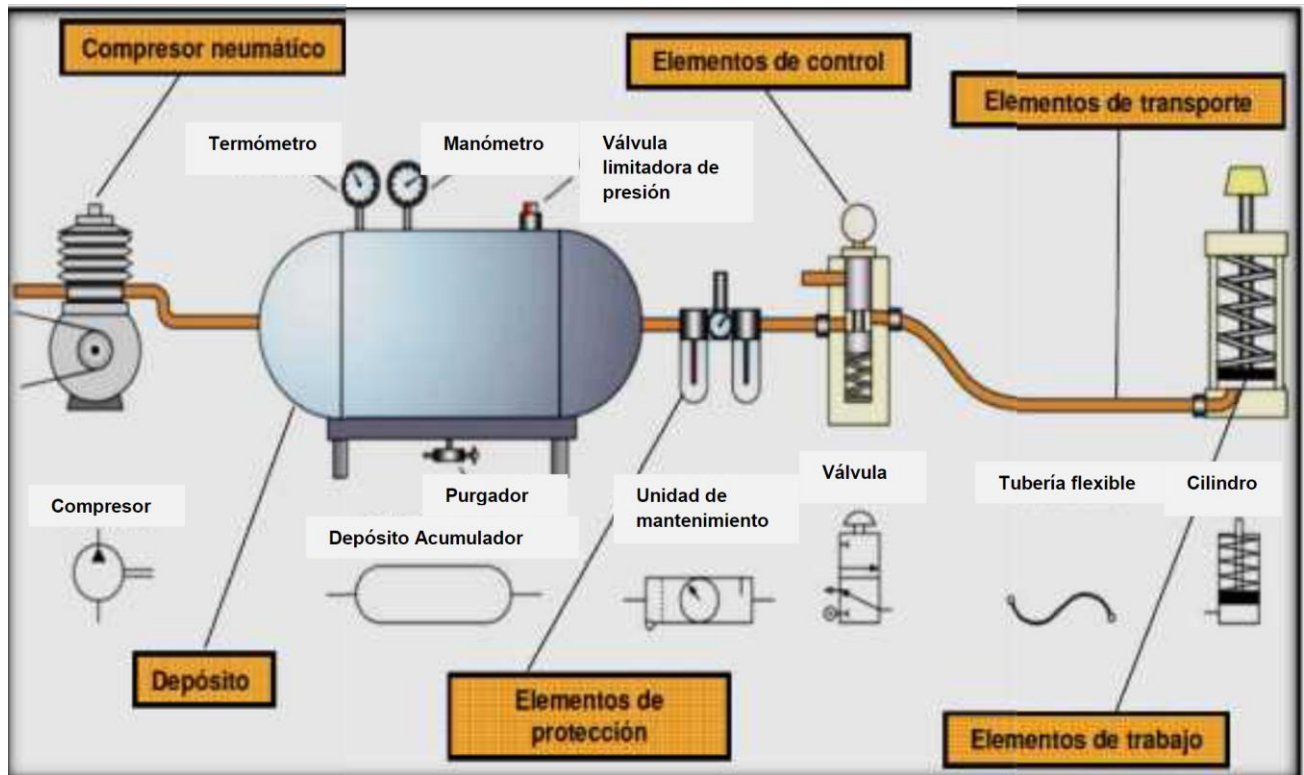


Ilustración 8:(Fuente: [http://www.areatecnologia.com/NEUMATICA\\_archivos/circuito-neumatico.PNG](http://www.areatecnologia.com/NEUMATICA_archivos/circuito-neumatico.PNG))

- Compresor
- Calderín o tanque de almacenamiento
- Canalizaciones
- Unidad de mantenimiento
- Enchufe rápido o toma de presión
- Manguera con enchufe rápido
- Actuador (motor, cilindro, pistola de soplado)

## 6.2 Actuadores neumáticos

Un actuador neumático es un dispositivo que convierte la energía del aire comprimido en movimiento mecánico. Se utiliza ampliamente en la industria y en aplicaciones donde se requiere generar fuerza, movimiento lineal o rotativo, o aplicar una presión controlada.

El funcionamiento básico de un actuador neumático se basa en el principio de la presión del aire. Consiste en un cilindro neumático que contiene un pistón y una varilla de conexión. Cuando el aire comprimido se suministra al cilindro, se genera una presión que empuja el pistón y hace que la varilla se desplace. Dependiendo del diseño del actuador, la varilla puede realizar un movimiento lineal hacia adelante y hacia atrás o, bien, puede realizar un movimiento rotativo.

Los actuadores neumáticos ofrecen varias ventajas, como su simplicidad de diseño, alta confiabilidad, velocidad de respuesta rápida, capacidad de generar fuerzas significativas y amplia disponibilidad de componentes en el mercado. Además, son compatibles con entornos hostiles, como ambientes corrosivos o explosivos, ya que el aire comprimido no es inflamable.

### Actuador neumático SERIES 92/93 DE BRAY



Ilustración 9: Actuador neumático BRAY CONTROLS de Costa Rica.

Fuente: Obtenido de (<https://www.bray.com/es/valves-actuators-controls/actuators/pneumatic-actuator/series-92-93-pneumatic-actuator>).

Los actuadores Serie 92/93 fueron diseñados principalmente para operaciones neumáticas con una presión máxima de 140 psi (10 bares) y rangos de temperatura de -4 °F a 200 °F (-20 °C a 93 °C).

La Serie 92/93 está totalmente cerrada y autocontenida. Las características minimizan el mantenimiento y ofrecen montaje y desmontaje simple y seguro.

Dos tornillos de límite de recorrido ajustables de forma independiente y levas en el vástago de salida permiten ajuste bidireccional preciso de movimiento en las posiciones abierto y cerrado para válvulas de cuarto giro (ajuste de límite +5 ° a -5 °)

Los actuadores Bray cumplen con las dimensiones de la norma ISO 5211 y se montan directamente a válvulas Bray sin usar conexiones externas. La instalación en el sitio es simple, las desalineaciones se minimizan y la acumulación de contaminación entre la válvula y el actuador se reduce. (Referencia bibliográfica: <https://www.bray.com/es/valves-actuators-controls/actuators/pneumatic-actuator/series-92-93-pneumatic-actuator>)

### Especificaciones

**Tabla 3**

<b>Rango de temperatura</b>	-40 °F a 300 °F (-40 °C a 149 °C)	<b>Fuente de alimentación</b>	Neumático
<b>Presión de suministro de entrada</b>	Hasta 140 psi (10 bares)	<b>Clasificación de la carcasa</b>	IP66/IP67M por IEC 60529
<b>Montaje</b>	ISO 5211: 2001(E)	<b>Producto abastecido</b>	Aire comprimido seco, gas inerte
<b>Estándar de diseño</b>	EN 15714-3	<b>Certificaciones</b>	ABS, ATEX, Bureau Veritas, PED, SIL 3
<b>Ensayos estándar</b>	EN 15714-3:2009	<b>Opciones</b>	Accionamiento simple o doble, límites de recorrido extendidos.
<b>Opciones de control</b>	Encendido-apagado, estrangulamiento, accionamiento doble, retorno con resorte	<b>Compatibilidad de válvula</b>	Válvulas mariposa, válvulas esféricas
<b>Torque de salida</b>	Hasta 44.130 in-lb (4.986 Nm)		

## 7. Válvulas

Existen muchos tipos diferentes de válvulas en el mundo, pero las válvulas manuales más típicamente utilizadas en sistemas de vapor son las de globo, bola, compuerta y mariposa.

Algunas de las más utilizadas son:

El elemento de cierre 'rota' en la vía de circulación para detener el flujo, por ejemplo: válvula de bola, válvula de mariposa.

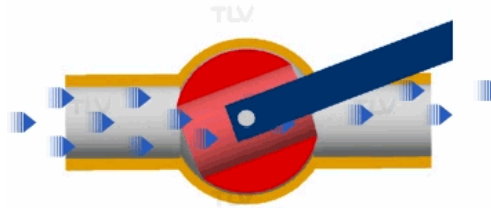


Ilustración 10:(JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV.)

El elemento de cierre actúa como un 'sello o tapón' en la vía de circulación para detener el flujo, por ejemplo: válvula de globo.

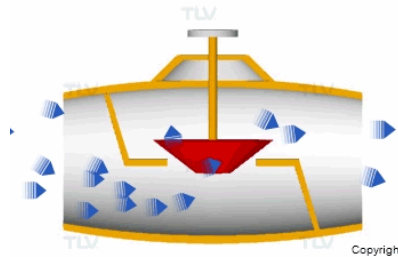


Ilustración 11:(JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV)

### 7.1 Válvulas de bola

Las válvulas de bola ofrecen muy buena capacidad de cierre y son prácticas porque para abrir y cerrar la válvula es tan sencillo como girar la manivela 90°. Se pueden hacer de 'paso completo', lo que significa que la apertura de la válvula es del mismo tamaño que el interior de las tuberías y esto resulta en una muy pequeña caída de presión. Otra característica principal, es la disminución del riesgo de fuga de la glándula sello, que resulta debido a que el eje de la válvula solo se tiene que girar 90°.

Es para uso exclusivo en la posición totalmente abierta o cerrada. Esta no es adecuada para su uso en una posición de apertura parcial para ningún propósito, tal como el control de caudal. (JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV)

La válvula de bola hace uso de un anillo suave conformado en el asiento de la válvula. Si la válvula se utiliza en posición parcialmente abierta, la presión se aplica a solo una parte del asiento de la válvula, lo cual puede causar que el asiento de la válvula se deforme. Si el asiento de la válvula se deforma, sus propiedades de sellado se vulneran y esta fugará como consecuencia de ello. (JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV)

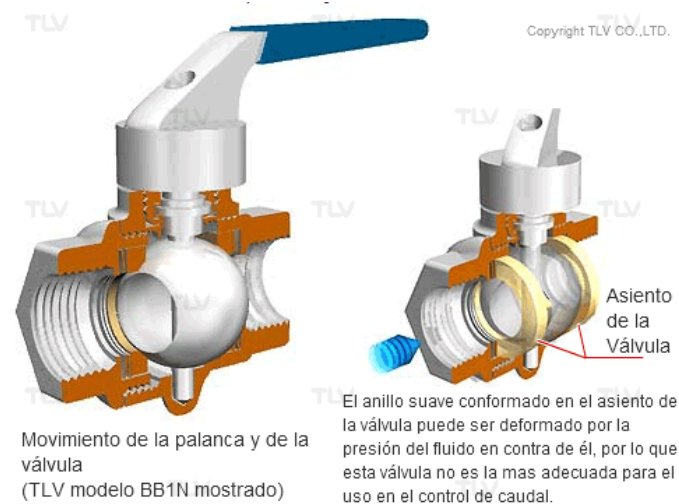


Ilustración 12:(JIS. (2023). Tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV)

Las válvulas de bola son dispositivos utilizados para controlar y regular el flujo de fluidos en sistemas industriales. Consisten en una esfera perforada que gira dentro de un cuerpo de válvula. Cuando la esfera está alineada con el flujo, permite el paso del fluido y, cuando se gira 90 grados, bloquea el flujo.

## 7.2. válvulas de globo

La válvula de globo es adecuada para utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones, desde el control de caudal hasta el control abierto-cerrado (On-Off).

Cuando el tapón de la válvula está en contacto firme con el asiento, la válvula está cerrada. Cuando el tapón de la válvula está alejado del asiento, la válvula está abierta. Por lo tanto, el control de caudal está determinado no por el tamaño de la abertura en el asiento de la válvula, sino más bien por el levantamiento del tapón de la válvula (la distancia desde el tapón de la válvula al asiento). Una característica de este tipo de válvula es que incluso si se utiliza en la posición parcialmente

abierta, hay pocas posibilidades de daños al asiento o al tapón por el fluido. En particular, el principal tipo de válvula de globo utilizada para control de caudal es la válvula de aguja.

Cabe señalar, sin embargo, que debido a que la vía de circulación en esta válvula es en forma de 'S', la caída de presión es mayor que el de otros tipos de válvulas. Además, el vástago de la válvula debe ser accionado en numerosas ocasiones con el fin de abrir y cerrar la válvula y por tanto, hay una tendencia a fugar por la glándula de sello. Además, dado que cerrar la válvula requiere accionar el vástago hasta que el tapón presione firmemente hacia abajo en el asiento, es difícil saber el punto exacto en el que la válvula está totalmente cerrada. Ha habido casos en que accionando accidentalmente la flecha de la válvula demasiado lejos se ha dañado la superficie del asiento. (JIS. (2023). *Tipos de válvulas y sus aplicaciones*. TLV)

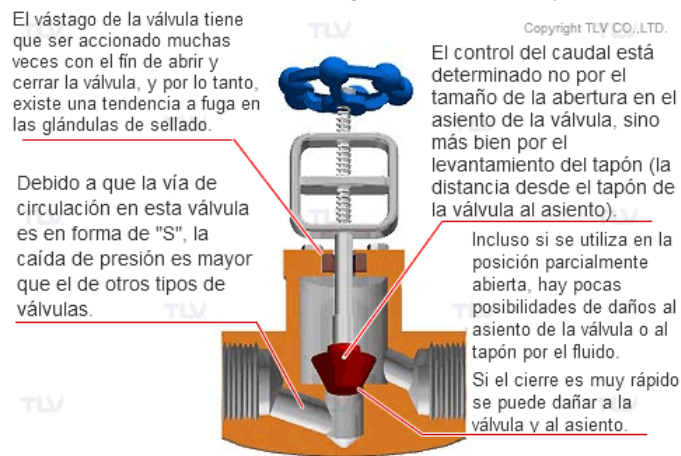


Ilustración 13:(JIS. (2023). tipos de válvulas y sus aplicaciones. TLV)

## 8. Balanzas



Ilustración 14:(Medición y calibración de instrumentos de la magnitud masa. PROCAME)

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.

La inmensa mayoría de los instrumentos de pesar que se utilizan en la actualidad no requieren del uso directo de las pesas en el proceso de pesar, reduciendo cada vez más la función de éstas a la calibración de los instrumentos de pesar. Las pesas lógicamente se utilizan, además como medidas de referencia para la calibración de otras pesas siguiendo una relación de exactitud generalmente de 1 a 3.

Tanto los instrumentos de pesar como las medidas materializadas que representan físicamente la unidad de masa encuentran una amplia aplicación en cualquier proceso industrial. De ellos depende en buena medida que se pueda alcanzar la calidad esperada tanto en el proceso como en el producto final.

Las balanzas y las pesas han sido utilizadas por el hombre durante más de 10 000 años para determinar la masa de los cuerpos, sin embargo, los conceptos fundamentales y los requisitos

legales para la construcción y el uso de los instrumentos de pesar no se dominan lo suficiente, propiciando en muchos casos la introducción de errores durante las mediciones y una apreciación incorrecta de la instrumentación que se requiere atendiendo a la exactitud de las mediciones que se realizan. (Ing. Ana Catalina Leandro Sandí M.Sc. Manfred Murrell Blanco Licda. Karla Vetrani Chavarría (Ed.). (s/f). Medición y calibración de instrumentos de la magnitud masa. PROCAME)

### **Concepto de masa (Masa inercial y Masa gravitacional):**

Definir categóricamente el concepto de masa resulta muy difícil por cuanto la Mecánica Clásica y la Física Moderna no permiten explicar completamente su naturaleza exacta. Sin embargo, para los metrologos resulta suficiente el concepto clásico de masa definido hace poco más de 300 años de una forma similar a la siguiente:

"La masa es una cualidad que manifiesta por sí misma las propiedades inerciales y gravitacionales de los cuerpos".

La masa de un cuerpo se manifiesta de dos maneras; una es en el cambio de estado de movimiento (inercia) y la otra es en la atracción entre los cuerpos.

Supongamos un túnel al vacío, con un plano que sirva de pista, con la cara superior perfectamente lubricada de forma que, al colocar un objeto sobre esa superficie y al desplazarlo, no exista fricción entre la superficie y el objeto.

Entonces, si el objeto está en reposo y lo ponemos en movimiento, el esfuerzo necesario para moverlo sería una manifestación de la masa del objeto.

En el mismo túnel y en las mismas condiciones, si retiramos la pista, el objeto cae atraído por el planeta Tierra y ésta sería la otra manifestación de la masa del objeto. En ambos casos, tanto la medida del esfuerzo para mover el objeto como la medida de la caída serían la medida de la masa del objeto. Dicho de otra forma, la masa es la cantidad de materia contenida en un volumen determinado mientras que el peso es el resultado de la atracción de la Tierra sobre esa masa.

La vinculación entre la masa y las propiedades inerciales se pone en evidencia cuando dos cuerpos de masas diferentes responden con aceleraciones diferentes ante la acción de una misma fuerza externa. Este es el sentido práctico de la segunda Ley de la Mecánica expresado

matemáticamente de la forma:

$$F = m * a$$

Donde F es la fuerza externa, m la masa del cuerpo y a la aceleración de la gravedad.

La masa definida a partir de las propiedades inerciales de los cuerpos se identifica como “masa inercial”.

La vinculación entre la masa y las propiedades gravitacionales se manifiesta en la atracción que tiene lugar entre dos cuerpos que interactúan en un campo gravitacional, digamos por ejemplo el hombre y la Tierra. Dicha ley se expresa matemáticamente del modo siguiente:

$$F = G * \frac{m_1 * m_2}{r^2}$$

Donde G es la constante de gravitación universal ( $6,67 \times 10^{-11}$  N m<sup>2</sup>kg<sup>-2</sup>), m la masa de los cuerpos que interactúan y r la distancia entre cuerpos.

La masa definida en función de las propiedades gravitacionales de los cuerpos se identifica como “masa gravitacional”.

La experiencia práctica demuestra que la masa inercial y la masa gravitacional son proporcionales entre sí y no son más que dos manifestaciones diferentes de una misma cualidad.

### **8.1. Principio de medición:**

Las mediciones de masa, en el rango de interés para la metrología legal e industrial (desde 10-10 hasta 10<sup>6</sup> kg), se realizan empleando como principio físico de medición la comparación del peso de dos cuerpos que se equilibran mutuamente aproximadamente en el mismo instante y el mismo lugar.

Para los cuerpos en reposo relativo con respecto a la Tierra, suspendidos o apoyados en un punto dado, el peso es la fuerza con que presionan sobre ese punto, como consecuencia de la Ley de la Gravitación Universal. En estos casos la expresión (2) se puede

escribir como:

$$P = m * g$$

Donde P es el peso del cuerpo, m la masa del cuerpo y g la aceleración de la gravedad. La aceleración de la gravedad es la aceleración que adquieren los cuerpos como consecuencia de la atracción que ejerce la Tierra sobre ellos. Como la forma de la Tierra es achatada por los polos y ensanchada por el Ecuador, la atracción que ella ejerce sobre los cuerpos situados en diferentes puntos son diferentes y, por tanto, el valor de g no será el mismo en todas las latitudes ni a diferentes alturas. (Ing. Ana Catalina Leandro Sandí M.Sc. Manfred Murrell Blanco Licda. Karla Vetrani Chavarría (Ed.). (s/f). Medición y calibración de instrumentos de la magnitud masa. PROCAME)

Si equilibramos dos cuerpos de masas  $m_1$  y  $m_2$  respectivamente que se encuentran en reposo relativo respecto a la Tierra situados aproximadamente en el mismo lugar, la condición de equilibrio ideal puede expresarse de la forma:

$$P_1 = P_2 \pm L$$

Donde  $P_1$  y  $P_2$  son los pesos respectivos de ambos cuerpos y  $\Delta L$  es un factor de corrección de la posición de equilibrio diferente debido a la diferencia entre la masa de los cuerpos y otros factores influyentes. Aplicando la expresión (3) en la expresión (4) obtenemos:

$$m_1 * g_1 = m_2 * g_2 \pm L$$

Como el fenómeno se produce aproximadamente en un mismo sitio, podemos considerar que  $g_1 = g_2$  y finalmente obtendremos:

$$m_1 = m_2 \pm L$$

Si conociéramos con suficiente exactitud la masa de uno de los cuerpos, podríamos entonces tomarla como referencia para determinar la masa del otro cuerpo a través de la comparación descrita.

La situación ideal que se ha descrito nos muestra que el valor de masa desconocido de cualquier cuerpo se puede determinar si contamos con otro cuerpo cuya masa se toma como

valor de referencia (patrón de masa) y, con un instrumento en el cual se pueda determinar la diferencia entre los efectos que producen ambos cuerpos (instrumento de pesar). Antes de describir una situación más cercana a la realidad veamos qué sucede cuando pesamos los objetos en el aire. (Ing. Ana Catalina Leandro Sandí M.Sc. Manfred Murrell Blanco Licda. Karla Vetrani Chavarría (Ed.). (s/f). Medición y calibración de instrumentos de la magnitud masa. PROCAME)

### 8.2. El Principio de Arquímedes:

Un cuerpo de masa ( $m$ ) en reposo, sumergido en un fluido de densidad  $\rho_f$ , experimenta una fuerza de abajo hacia arriba (fuerza de empuje) que equivale al peso del fluido desalojado, como se muestra en la figura.

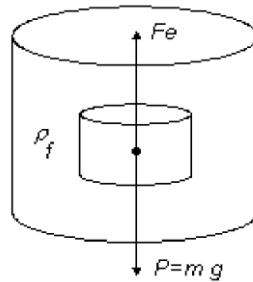


Ilustración 15: Principio de Arquímedes

El peso del fluido ( $\rho_f$ ) es el producto de su masa ( $m$ ) por el valor de la aceleración de la gravedad ( $g$ ). Expresando la masa del fluido en términos del volumen y la densidad tendremos:

$$F_e = P_f = m_f \cdot g = V_f \cdot \rho_f \cdot g$$

Como el volumen del fluido desplazado por el cuerpo es igual al volumen del cuerpo ( $V$ ), obtendremos que,

$$F_e = V \cdot \rho_f \cdot g$$

### 8.3. La comparación de masas mediante una balanza:

- Pesar significa determinar la masa desconocida de un cuerpo ( $T$ ) con el auxilio de un instrumento de pesar, mediante la comparación de su peso con el peso de otro cuerpo que

nos sirve de referencia (R), cuya masa conocemos con suficiente exactitud, en presencia de la acción de la gravedad sobre ambos cuerpos.

- La fórmula (3) se toma como base cuando se comparan dos masas en una balanza, basándonos en que se igualan las masas de dos cuerpos cuando ellos ejercen el mismo peso bajo la misma aceleración de la gravedad (esto es, en el mismo lugar). Sin embargo, esto sólo es cierto si la pesada se realiza en el vacío. Normalmente se pesa en el aire y, por lo tanto, el equilibrio ocurre entre la resultante del peso de los cuerpos y la fuerza de empuje del aire sobre cada uno de ellos.

En la figura 2 se muestra la comparación de la masa de dos cuerpos de volumen V1 y V2 respectivamente, utilizando para ello una balanza de brazos iguales. La ecuación que representa el equilibrio de las fuerzas que actúan sobre cada cuerpo es:

$$I_L \cdot (m_1 \cdot g_{loc.} - V_1 \cdot \rho_a \cdot g_{loc.}) = I_R \cdot (m_2 \cdot g_{loc.} - V_2 \cdot \rho_a \cdot g_{loc.})$$

**Donde:**

m1 y m2: Masas de los cuerpos 1 y 2

V1, V2: Volumen de los cuerpos 1 y 2

gloc.: Aceleración local de la gravedad

IL, IR: Longitud de los brazos de la balanza (izquierdo y derecho)

1 y 2: Densidades de los cuerpos 1 y 2

a: Densidad del aire durante la pesada

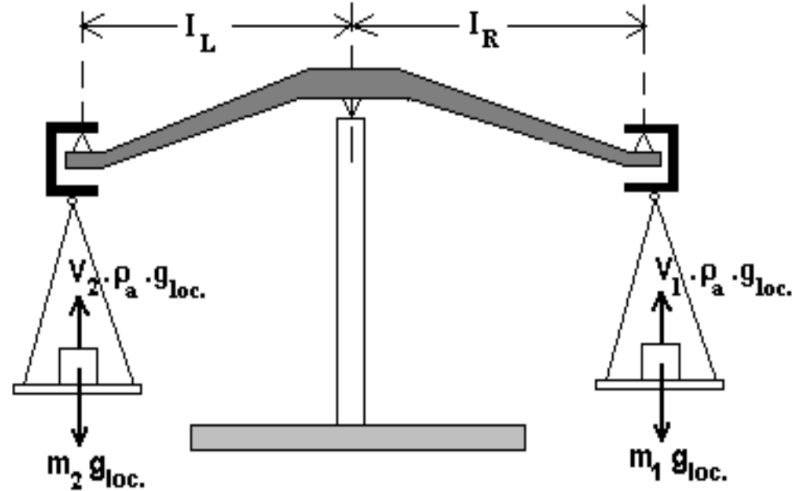


Ilustración 16: Comparación de masas mediante una balanza

Si los brazos de la balanza son iguales  $I_L = I_R$  y la aceleración de la gravedad se considera constante en la vecindad de la balanza, teniendo en cuenta que  $V = m/\rho$ , se obtiene el siguiente resultado:

$$m_2 = m_1 \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_1}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho_2}}$$

A partir de esta ecuación se observa que, en la comparación de masas con una balanza, la densidad del cuerpo ensayado y del patrón, así como la densidad del aire en el momento de la comparación, deben tenerse en consideración si existen diferencias apreciables en la densidad de los cuerpos comparados y se requiere alta exactitud en la comparación. Con una incertidumbre relativa en la medición de hasta  $10^{-3}$ , generalmente esta corrección no se requiere.

En actividades comerciales y legales con exactitud hasta  $10^{-4}$ , no se realiza esta corrección por el efecto de la fuerza de empuje del aire y el peso leído en la balanza se considera igual a la masa del cuerpo. Los laboratorios metrológicos pueden cumplir las exigencias de la comparación de pesas hasta las de mayor exactitud clase E1, siguiendo las Recomendaciones Internacionales No. 111 y No. 33, según veremos en el próximo tema.

En general, cuando comparamos un cuerpo cuya masa se desea determinar con un patrón de masa conocida, y se determina la diferencia que existe entre sus pesos mediante una balanza, resultaría la siguiente ecuación para determinar la masa:

$$m_2 = m_p + \rho_a (V_2 - V_p) + \Delta W$$

Donde el subíndice "p" designa al patrón y -W es la diferencia entre el peso de ambos cuerpos De terminada mediante la balanza.

### 9.Paneles de control

En una instalación eléctrica, el tablero eléctrico es imprescindible para la protección de equipos críticos. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación. En términos generales, un tablero eléctrico es un gabinete en el que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.



Ilustración 17:Panel de control de válvula neumática

Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el medidor de consumo (mismo que no se puede alterar) e interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.

Para fabricar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica. El cumplimiento de estas normas garantiza la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios. (Latam, H. (2021). Que es un gabinete o tablero eléctrico.)

## 10. Fuentes de voltaje



**Ilustración 18:**Fuente de voltaje

Primero lo primero, una fuente de voltaje es un equipo que suministra voltaje a una carga. Por carga definimos todo aquello conectado a la fuente de voltaje que reciba energía, es decir, un circuito, una resistencia, un capacitor, un automóvil, un motor, etcétera. Para ello, tenemos que recordar que existen leyes en la física y una muy importante es la ley de ohm con la fórmula para el voltaje:

$$V = R * I$$

Como podemos ver, el voltaje es una variable que siempre depende de la corriente y de la resistencia. Esto causa algunas limitaciones físicas que se tienen que tomar en cuenta cuando se quiera operar una fuente de poder como fuente de voltaje o fuente de corriente.

El símbolo con el que normalmente se representa una fuente de voltaje es:

(ACMAX. (2020). que es una fuente de voltaje?)

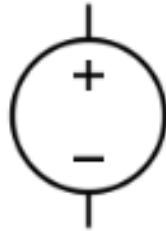


Ilustración 19: Símbolo fuente de voltaje DC:

## 11. Temporizador

Los temporizadores desempeñan un papel fundamental en la automatización de equipos industriales al permitir el control preciso de eventos y secuencias de tiempo. Aquí tienes un marco teórico sobre los temporizadores en la automatización de equipos industriales.



Ilustración 20: AUTONICS. (s/f). CT6S-2P AUTONICS.

Definición de temporizador: Un temporizador es un dispositivo o función utilizado para medir y controlar el tiempo dentro de un sistema automatizado. Su función principal es introducir retrasos, generar intervalos o activar/desactivar señales en momentos específicos.

Tipos de temporizadores:

a. Temporizadores de retardo a la conexión (TON): Este tipo de temporizadores se utilizan para introducir un retardo en la activación de una señal de salida después de que se ha activado una señal de entrada. Una vez transcurrido el tiempo programado, la señal de salida se activa. Esto es útil para controlar secuencias de encendido y apagado en equipos industriales.

b. Temporizadores de retardo a la desconexión (TOF): Estos temporizadores generan un retardo en la desactivación de la señal de salida después de que la señal de entrada se haya desactivado. Una vez transcurrido el tiempo programado, la señal de salida se desactiva. Esto puede ser utilizado para permitir un tiempo de enfriamiento o purgado antes de apagar un equipo industrial.

c. Temporizadores de retardo al impulso (TP): Estos temporizadores generan un pulso de salida con una duración específica cuando se activa la señal de entrada. Es útil para generar pulsos precisos de activación en sistemas industriales.

Programación de temporizadores: Los temporizadores se programan en función del tiempo deseado y se configuran en el programa de control o sistema de automatización. Se establece el tiempo de retardo deseado y se asigna a las señales de entrada y salida correspondientes.

## **12.PLC**

### **12.1. Controlador lógico programable**

Un Controlador lógico programable, o P.L.C. (Programmable Logic Controller) es un computador especialmente diseñado para automatización industrial, para el control de una máquina o proceso industrial.

A diferencia de un computador tradicional, un PLC no tiene teclado, pantalla ni ratón, tampoco tienen disco duro ni Windows. Pero internamente si es un computador, con su hardware: procesadores, memoria, puertos de comunicación, ect. y con su software: un sistema operativo (que le llaman Firmware), y una programación, específica para la aplicación o el caso particular en que se está usando. ( Rolf Dahl-Skog enero 2012)



Ilustración 21:(PLC LOGO Siemens).

## 12.2 LOGO SIEMENS

En primer lugar, podemos definir que un LOGO Siemens es un PLC o autómatas programable compacto y de dimensiones reducidas que permite el control de programas de automatización para cualquier sector en la industria.

Es más, puedes encontrar definiciones varias para un LOGO, como que un LOGO es un módulo lógico inteligente, o que un LOGO es un controlador para tareas de automatización, pero, en definitiva, un LOGO de Siemens es un PLC o autómatas programable al cual le podemos programar una secuencia de programación a medida.

Es más, el LOGO de Siemens dispone de entradas y salidas para poder añadir sensores de nuestra automatización y controlar diferentes actuadores en nuestro proceso.

Además, los LOGO más actuales ya disponen de un puerto Ethernet para comunicaciones y para poder transferir el proyecto desde el software de programación al PLC LOGO, por lo que no hace falta tener un cable específico de Siemens para la comunicación y transferencia. (Siemens, 2023)

## 12.3. Ventajas de utilizar LOGO SIEMENS

- Ahorro de trabajo de cableado y montaje.

- Reducir espacio para componentes en armario eléctrico.
- Agregar funciones sin necesidad de montar equipos auxiliares no cableado auxiliar.
- Ideal para sistemas de seguridad doméstica.
- Contiene un pequeño Display donde visualizar datos.
- Tiene un servidor Web incorporado.
- Ideal para controles de calefacción central.
- Se puede controlar a distancia con una App desde el móvil.
- Se puede comunicar con el sistema domótico KNX.
- Sirve para añadir nuevas funciones al sistema de refrigeración para ahorrar costes de energía.
- Se pueden utilizar interruptores y pulsadores normales en el mercado, lo que simplifica la instalación del sistema doméstico.
- Se puede conectar directamente a la instalación doméstica, gracias a su fuente de alimentación integrada.

### **13. Relés de contacto**

Los relés de uso general proporcionan una excelente funcionalidad y son ideales para cualquier aplicación, desde el control de cargas más pequeñas hasta aquellas que requieren alta capacidad de manejo de corriente. Una amplia gama de configuraciones de contactos y voltajes de bobina aseguran que haya un relé para cada aplicación de diseño de circuito de control.

La instalación de relés de uso general es rápida, fácil y segura con poco riesgo de daños, y varios modelos de relés son específicamente de forma delgada y están diseñados para adaptarse a espacios reducidos. ( EATON. (n. d.). Relés de uso general)



**Ilustración 22: relé de contacto -Image Search Results . (Dakota del Norte**

### **13.1 características principales**

- El indicador de señal permite a los usuarios ver el estado del relé en condiciones manuales o de alimentación.
- Botón de prueba que permite la operación manual del relé sin necesidad de alimentación de bobina.
- La puerta de bloqueo sostiene el pulsador y los contactos en la posición de operación cuando se activa, para analizar los problemas del circuito.
- Sin vibraciones de contacto para caídas de voltaje momentáneas de hasta el 50 % del voltaje nominal.
- La cubierta de agarre con los dedos permite al operador retirar los relés de los enchufes más fácilmente que los relés convencionales. Este accesorio de pinza opcional permite a los operadores retirar relés de los enchufes más fácilmente que los relés convencionales.
- La etiqueta de identificación/escritura de plástico blanco permite a los usuarios identificar fácilmente relés en circuitos de varios relés.

(EATON. (n. d.). Relés de uso general)

## **14. Fusibles**

¿Qué es un Fusible?

Un fusible no es más que un corto trozo de cable diseñado para fundirse y separarse en caso de corriente excesiva. Los fusibles siempre están conectados en serie con los componentes a proteger de la sobre corriente, de modo que cuando el fusible se funde (se abre) abrirá todo el circuito y detendrá la corriente a través de los componentes. Un fusible conectado en una rama

de un circuito paralelo, por supuesto, no afectaría la corriente a través de ninguna de las otras ramas.

Normalmente, la delgada pieza de cable fusible está contenida dentro de una funda de seguridad para minimizar los riesgos de explosión de arco si el cable se abre con fuerza violenta, como puede suceder en el caso de sobre corrientes severas. En el caso de pequeños fusibles automotrices, la funda es transparente para que el elemento fusible pueda ser inspeccionado visualmente. Cableado residencial utilizado para emplear comúnmente fusibles atornillados con cuerpos de vidrio y una tira delgada y estrecha de lámina metálica en el medio. Aquí se muestra una fotografía que muestra ambos tipos de fusibles:

### ***Tipos de Fusibles***



Ilustración 23:Tipos de fusibles

## **15.Medidores**

### **15.1. Medidor de agua**

Se puede definir según la norma INTE/ISO 4064 como: 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.

Un medidor incluye por lo menos un transductor de medición, un calculador (incluyendo dispositivos de corrección o ajuste, si los hay) y un dispositivo indicador. Estos tres elementos pueden estar en diferentes alojamientos.

Cuentan con un dispositivo indicador que proporciona una indicación correspondiente al volumen de agua que pasa a través del medidor. (De Acueductos y Alcantarillados, I. C. (2016). INTE/ISO 4064-1)



Ilustración 24:medidor de agua ARAD DN15 clase metrológica B

### 15.2. Características metrológicas

Se considera volumen real al total de agua que pasa a través del medidor, sin tener en cuenta el tiempo transcurrido, el volumen real se calcula a partir de un volumen de referencia por media de una norma de medida adecuada, teniendo en cuenta las diferentes condiciones de medición. Así mismo el volumen indicado es el volumen de agua registrado por el medidor, correspondiente al volumen real.

La norma INTE/ISO 4064 define error como el valor medidor de la cantidad menos el valor de referencia, para la aplicación de esta norma el volumen indicado se considera como el valor medio de la cantidad, y el volumen real como el valor de referencia. La diferencia entre el volumen indicado y el volumen real es denominada como: error (de indicación). (De Acueductos y Alcantarillados, I. C. (2016). INTE/ISO 4064-1)

En esta norma internacional, el error (de indicación) se expresa como un porcentaje del volumen real, y es igual a:

$$\frac{(V_i - V_a)}{V_a} \times 100\%$$

### 15.3. Fallo

Diferencia entre el error (de indicación) y el error intrínseco de un medidor de agua.

[Fuente: Documento OIML D 11:2013, apartado 3.10, modificado - "de indicación "colocado entre paréntesis; "medidor" reemplaza a "instrumento de medida"]

### 15.4. Condiciones de funcionamiento

El caudal se define como  $Q = dV/dt$  donde V es el volumen real y t es el tiempo de paso de este volumen a través del medidor.

Nota 1. El apartado 4.1.2 de la Norma ISO 4006:1991 prefiere el uso del símbolo qV para esta cantidad, pero Q se usa en esta norma internacional al estar bien establecido en la industria.

## **Caudal permanente**

### **16. Costo Económico**

#### *Indicadores Financieros*

Entre los indicadores financieros que sirven para clarificar la factibilidad económica que presentan los proyectos se encuentran el VAN y la TIR. Aunque para este trabajo se estará usando el indicador CAUE.

VAN = Valor Actual neto.

TIR = Tasa Interna de Retorno.

#### **Valor Actual Neto**

El VAN mide la deseabilidad de un proyecto en términos absolutos. Calcula la cantidad total en que ha aumentado el capital como consecuencia del proyecto. (Rocabert, 2007).

El Valor Actual Neto (VAN) es el método más conocido para evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Actual Neto nos permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. (Revelo, 2018). La fórmula del Valor Actual Neto es:

$$NPR = -I \left( \frac{FNE}{1 + i} \right)_n$$

Fórmula para calcular el VAN Donde:

-I = Inversión inicial.

FNE = Flujos netos de efectivo.

(1+i)<sup>n</sup> = Tasa de descuento. (Revelo, 2018)

## **Interpretación**

### Interpretación del VAN.

Valor	Significado	Decisión
$VAN > 0$	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse.
$VAN < 0$	Produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
$VAN = 0$	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.	Como el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

*Fuente:* Milián (2012).

### Importancia

Mediante el estudio y aplicación del VAN a un proyecto de inversión se proporciona una herramienta cuantitativa al director financiero para que respalde su decisión y halle una disminución del riesgo, puesto que el valor presente neto utiliza una tasa que representa al mismo, brindándole un nivel de seguridad satisfactorio para invertir, y disponer a dirigir actividades, recursos, materiales, talento humano, y todo lo pertinente para llevar a cabo dicho proyecto. (Orlando, 2016)

Es aquí donde radica la importancia del VAN en que, a pesar de ser un valor positivo, le presenta al empresario una expectativa, y responde si es o no conveniente, porque el negocio es confiable, pero ¿conviene? Y eso es lo que muchos inversionistas quieren saber. Entonces la aplicación del y estudio del VAN resulta eficaz para que se aprecie tal situación y determinar si es conveniente invertir. (Orlando, 2016)

### Tasa Interna de Retorno

La TIR, expresa el crecimiento del capital en términos relativos y determina la tasa de crecimiento del capital por período. (Rocabert, 2007).

Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0. El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquél. (Mete, 2014)

Al no depender de las condiciones que prevalecen en el mercado financiero, se la denomina tasa interna de rendimiento que es la cifra interna o intrínseca del proyecto. Es decir, mide el rendimiento del dinero mantenido en el proyecto, y no depende de otra cosa que no sean los flujos de efectivo de aquél. (Mete, 2014)

La fórmula de la Tasa Interna de Retorno es:

$$TIR = i_1 + \frac{[(i_2 - i_1)(VAN_1)]}{[ABS(VAN_2 - VAN_1)]}$$

**Ecuación 4.2:** Fórmula para calcular la TIR.

Donde:

$i_1$  = Tasa de interés con el VAN

positivo.  $i_2$  = La tasa de interés con el

VAN negativo.

$VAN_1$  = Valor actual neto positivo.

$VAN_2$  = Valor actual neto negativo.

$ABS$  = Valor absoluto de los VAN, esto sin tener en cuenta el signo negativo. (Ross, Zesterfield, & Jaffe, 2010)

**Tabla 3. 3: Interpretación del TIR.**

Valor	Significado	Decisión
-------	-------------	----------

TIR > 0	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse.
TIR < 0	Produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
TIR = 0	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas.	Como el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r), la decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

*Fuente:* Milián (2012).

### **Importancia**

Resulta importante porque se puede enfocar en la ganancia o también se puede saber si se va a ganar o perder. Sin embargo, su importancia permite conocer en forma rápida la liquidez de la empresa, entregando una información clave que ayuda a tomar decisiones tales como, ¿Cuánto se puede comprar de mercadería? ¿Se puede comprar al contado o es necesario solicitar crédito? ¿Se debe cobrar al contado o es posible otorgar crédito? ¿Se puede pagar las deudas en su fecha de vencimiento o se debe pedir un refinanciamiento? ¿Se puede invertir el excedente de dinero en nuevas inversiones? (Dolores, 2016)

En general es posible concluir que el VAN es una herramienta que permite conocer cuánto vale una inversión en el futuro. Además, cuando es positivo indica que, dadas las circunstancias de la demanda, inflación, riesgo que tiene el proyecto y todo el entorno económico se obtiene rentabilidad, es decir, que el proyecto es atractivo. En el caso contrario si se tiene un VAN negativo no se debe considerar válido dicha inversión, por lo que se debe considerar la inversión que tenga un valor actual neto positivo.

La TIR indica la rentabilidad promedio que genera el capital que permanece invertido en el proyecto. Entonces se puede afirmar que un proyecto de inversión resulta factible financieramente cuando en todo momento provee saldos positivos, o sea, si existe suficiente dinero para financiar los gastos de la inversión que implica si se va a poner en marcha o no la operación.

## **CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO**

### **Enfoque de investigación**

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), existen 3 enfoques metodológicos: cuantitativo, cualitativo y mixto (p.2). Estas se pueden definir como herramientas para “enfrentar problemas de investigación” (Hernández, 2014).

El presente proyecto será diseñado bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, las cualidades de este nos presentan una base sólida para el desarrollo de las ideas y necesidades de nuestra investigación.

El enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías (Hernández et al., 2014, p.4).

### **Fuentes de información**

El objetivo de esta investigación de un banco de pruebas de caudal para medidores de diámetro DN15 hasta DN20 es la automatización parcial del sistema, reduciendo de esta manera la repetición de las pruebas por paros no oportunos. Debido a esto, se realizará una exhaustiva búsqueda basándonos en diferentes publicaciones, medios electrónicos, antecedentes y libros que nos brinden la información necesaria para desarrollar nuestra idea, analizar y presentar los resultados.

En adición se tiene la necesidad de recopilar y analizar el costo de este proyecto comparado con el beneficio tanto para el laboratorio como para los abonados al AyA.

## Objetivos para la Investigación con Enfoque Cuantitativo

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Reducir la repetición de pruebas a medidores de caudal utilizando equipos electromecánicos temporizados para mejorar el tiempo de respuesta del Laboratorio de Flujo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.</p>	<p>Repetición de pruebas</p>	<p>Porcentaje de repetición</p>	<p>Repetición de pruebas debido a un cierre inoportuno de la válvula mecánica a la hora de finalizar la prueba.</p>	<p>Toma de datos de las matrices para evidenciar la reducción de repetición de pruebas en porcentajes.</p>	<p>Microsoft Excel 2023</p>

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Identificar las carencias electromecánicas del sistema mediante un levantamiento de equipos actuales y una comparación de fichas técnicas usadas en la actualidad por otros laboratorios acreditados para el cumplimiento de la norma INTE/ISO 17025.</p>	Repetibilidad	Precisión	Puede repetirse y obtener los mismos resultados.	Al ser un cierre automático siempre va a tener la misma precisión de apertura y cierre generando repetibilidad en la prueba.	Panel de control con temporizador para accionar una válvula de bola con actuador neumático.
	Tiempo de activación	Segundos	Tiempo que tarda la válvula neumática en cerrarse.	Se harán varias pruebas cronometradas de apertura y cierre de la válvula neumática en comparación a una válvula de bola con un cierre manual.	Cronómetro RadioShack modelo 6321 con certificado de calibración vigente.

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
<p>Seleccionar los equipos necesarios con base en un análisis de las fichas técnicas y manuales para realizar el diseño del panel.</p>	Corriente	Amperios	Unidad de intensidad de la corriente eléctrica.	Estos datos se tomarán de las fichas técnicas de cada equipo.	Se harán los cálculos en una tabla de Microsoft Excel donde se pueda visualizar la carga total del sistema.
	Tensión	Voltios	La tensión eléctrica es la magnitud que da cuenta de la diferencia en el potencial eléctrico entre dos puntos determinados.	PDF sobre fichas técnicas, manuales de fabricante e información de páginas oficiales de fabricantes.	Se tabularán los voltajes de todos los equipos en Microsoft Excel.
	Presión	PSI	Presión de trabajo con la que cierra la válvula neumática.	Toma de presión mediante manómetro marca WIKA modelo 111.12 presión máxima 160 PSI con certificado de calibración vigente.	Se tabularán varias tomas de presión en una tabla en Microsoft Excel.
	Precio	Colones	Costo asociado a la adquisición de cada equipo y su instalación.	Los equipos no deben sobrepasar el monto de caja chica para ser adquiridos o mediante compra agrupada interna en AYA.	Cotizaciones en colones que van a ser solicitadas vía correo a los proveedores.
	Diámetro	mm	Diámetro de la válvula de bola con actuador neumático.	Selección de una válvula neumática apropiada de 25 mm para el banco de pruebas.	Válvula con actuador neumático de 25 mm

Objetivo	Variable	Indicador	Definición Conceptual	Definición Operacional	Definición Instrumental
<p>Aumentar la precisión y capacidad de las pruebas realizadas mediante la implementación de equipos electromecánicos con tecnología para optimizar pruebas de ensayo y así agilizar la cola de reclamos y mejorar tiempos de respuesta a los reclamos presentados por abonados al departamento de financiero por errores de facturación.</p>	<p>Precisión de la medición</p>	<p>Segundos</p>	<p>Tiempo en segundos que tarda la válvula en cerrar.</p>	<p>Se tomarán tiempos y se tabularán en Excel.</p>	<p>Cronómetro RadioShack modelo 6321 con certificado de calibración vigente.</p>

<b>Objetivo</b>	<b>Variable</b>	<b>Indicador</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>	<b>Definición Instrumental</b>
Realizar una evaluación financiera mediante la estimación de costos del proyecto, así como los ahorros generados y su retorno de inversión, para determinar el beneficio económico.	Tiempo de respuesta al departamento financiero.	días hábiles	Cantidad de días hábiles con los que cuenta una prueba de reclamo de un medidor desde el momento que ingresa al Laboratorio.	Se tabularán los tiempos de respuesta del Laboratorio con equipos automatizados para realizar las pruebas.	Microsoft Excel 2023
	Valor actual neto	colones	Cálculo de VAN	Realizar cálculos económicos de VAN y gastos operativos del proceso de manufactura y perdidas en el Mismo.	Microsoft Excel 2023, Formula para cálculo del VAN
	Costo anual equivalente	colones	Evaluación de la inversión	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, por lo tanto, el proyecto puede realizarse	Microsoft Excel 2023, Formula para cálculo del CAUE

## **Procedimiento de Recolección y Análisis de Datos**

Para efectos de este proyecto se utilizarán los datos del Laboratorio de Flujo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Se visitarán Laboratorios acreditados bajo la norma INTE/ISO 17025 como lo es el Laboratorio Nacional de Aguas para el estudio de equipos utilizados de este laboratorio.

Se medirán las diferentes variables de la investigación, una vez se concluyan las propuestas y se obtenga una solución financiera se presentará el plan de implementación a el Laboratorio de Flujo que les ayude a tener un mayor tiempo de respuesta y confiabilidad en los equipos.

Para la compilación y análisis de los datos se revisarán las fichas técnicas y datos tabulados Microsoft Excel.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

Antes de empezar con la propuesta que daremos en el diseño es importante saber con lo que cuentan en el Laboratorio de Flujo, ya que está en proceso de acreditación bajo la norma INTE/ISO 17025, en el Laboratorio nos han brindado las normas, así como los requerimientos que deben tener los equipos.

Inicialmente se levantó una tabla de información sobre los equipos actuales que tiene el banco de pruebas de medidores para comparar estos equipos con los que tienen otros Laboratorios acreditados bajo norma ISO/17025 y de esta manera valorar que mejoras se lograban adaptar a el banco de pruebas de medidores marca FORD con el que cuenta el Laboratorio de Flujo.

Inicialmente el banco de pruebas presenta los siguientes equipos:

Banco de pruebas FORD INDIANAPOLIS DN15-DN20, 6 Hidrómetros		
Descripción	Tipo de equipo	Cantidad
Rotámetro Omega DN15 FLDW311G	Medición	1
Rotámetro Krohme DN20 VA40WR	Medición	1
Rotámetro Krohme DN25 VA40WR	Medición	1
Manómetros WIKA 160 PSI	Medición	2
Termómetro Fluke 160C	Medición	1
Balanza TSCALE 300kg	Medición	1
Filtro de agua HYDRONIX SPC-25-2005	Electromecánico	1
Banco de escurrido	Electromecánico	1
Válvula de aguja de 1/2	Electromecánico	1
Válvula de aguja de 3/4	Electromecánico	1
Válvula de compuerta de 1	Electromecánico	1
Llave de bola de 3/4	Electromecánico	1
Llave de bola de 1	Electromecánico	2

La problemática de este banco es que, al tener únicamente equipos mecánicos, las pruebas iniciaban con un cronómetro calibrado con su debido certificado y la prueba finalizada cerrando una llave de bola de 1 pulgada, esto genera repeticiones en pruebas debido a que la finalización debe ser precisa, provocando tiempos extras para repetir pruebas de hasta 45min por caudal evaluado y un aumento en la cola de espera de los resultados.

Como se puede evidenciar en las siguientes matrices de Microsoft Excel donde se hacen las pruebas y se guardan en la nube de OneDrive, se repetían pruebas a menudo por diversas razones como, por ejemplo:

- Mala calibración del caudal en la ejecución de la prueba, la balanza no llega al volumen deseado.
- Cierre tardío en la llave de bola de 1in para finalizar la prueba, por esta situación se podía desbordar el tanque o pasarse mucho el peso que registra la balanza por lo que la prueba no sería válida y es necesario repetirla.

BANC	TIPO	Ø	FECHA	NIS	ANALIS	MARCA	MODELC	PRINCIPIO I	MEDIDOR	LECTUI
AW	PV	15	10/01/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201849487	0
AW	PV	15	10/01/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201714601	1221
AW	PV	15	10/01/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201878116	781
AW	PV	15	10/01/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201848479	9986
AW	ART	15	10/01/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201835246	278
AW	PV	15	11/01/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201879261	771
AW	PV	15	17/01/2022	REPETIR	JJC	ITRON	MULTIMAG	B=30L/H	15001130	1366
AW	ART	15	25/01/2022	REPETIR	JJC	ARAD	MJ	B=30L/H	1361900	889
AW	PV	15	27/01/2022	REPETIR	JJC	FAE	DELTA	R50	14063959	3697
AW	PV	15	31/01/2022	REPETIR Q3	JJC	ARAD	MJ	B=30L/H	0897367	2971
AW	PV	15	31/01/2022	REPETIR Q3	JJC	ARAD	MJ	B=30L/H	3075	3963
AW	PV	15	07/02/2022	REPETIR	JJC	ARAD	MJ	B=30L/H	1108724	754
AW	PV	15	17/02/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201814791	1179
AW	PV	15	23/02/2022	REPETIR	JJC	ARAD	Q15 NUEVO	R50	1709171	0
AW	PV	15	23/02/2022	REPETIR	JJC	ARAD	Q15 NUEVO	R50	1705256	1438
AW	PV	15	03/03/2022	REPETIR Q3	JJC	ARAD	Q15	B=30L/H	1306709	2393
AW	PV	15	03/03/2022	REPETIR	JJC	FAE	DELTA	R50	15047102	0
AW	PV	15	09/03/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201853064	381
AW	PV	15	09/03/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201848460	0
AW	PV	15	09/03/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201715871	1162
AW	<b>PV</b>	<b>15</b>	<b>18/03/2022</b>	REPETIR Q2	JJC	ARAD	MJ	<b>B=30L/H</b>	<b>1288853</b>	<b>2043</b>
AW	PV	15	25/03/2022	REPETIR	JJC	ARAD	PD	C=15L/H	10125649	6692
AW	PV	15	25/03/2022	REPETIR	JJC	ARAD	Q15 NUEVO	R50	1722852	2163
AW	PV	15	28/03/2022	REPETIR	JJC	FAE	DELTA	R50	14046151	2363
AW	<b>PV</b>	<b>15</b>	<b>30/03/2022</b>	REPETIR	JJC	AIMEI	<b>MD-K15</b>	<b>R80</b>	<b>201809588</b>	<b>1823</b>
AW	PV	15	30/03/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201838432	3119
AW	<b>PV</b>	<b>15</b>	<b>01/04/2022</b>	REPETIR	JJC	AIMEI	<b>MD-K15</b>	<b>R80</b>	<b>201880802</b>	<b>671</b>
AW	PV	15	01/04/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201808142	354
AW	PV	15	01/04/2022	REPETIR	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201838743	20
AW	PV	15	05/04/2022	REPETIR Q3	JJC	ARAD	Q15	B=30L/H	1318775	2551
AW	PV	15	05/04/2022	REPETIR	JJC	ARAD	Q15 NUEVO	R50	1709507	1014
AW	PV	15	05/04/2022	REPETIR	JJC	ARAD	Q15 NUEVO	R50	1725262	1119
AW	PV	15	05/04/2022	REPETIR	JJC	FAE	DELTA	R50	14098306	1
AW	PV	15	05/04/2022	REPETIR	JJC	FAE	DELTA	R50	15022395	2539
AW	PV	15	05/04/2022	REPETIR	JJC	FAE	DELTA	R50	14098349	1877

Ilustración 25: Matriz de prueba de medidores DN15 del Laboratorio de Flujo del AyA.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
BANC	TIPO		FECHA	NIS	ANALIS	MARCA	MODELO	PRINCIPIO	MEDIDOR	LECTUR
VOL	ART	15	12/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ARAD	MJ	B-30-L/H	0430628	1708
VOL	ART	15	12/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ARAD	MJ	B-30-L/H	23261	2363
VOL	ART	15	12/01/2022	REPETIR Q1	PSF	TECNOBRAS	TM-II	B-30-L/H	242568	3749
VOL	ART	15	12/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ACTARIS	TM-II	B-30-L/H	08448295	4949
VOL	ART	15	12/01/2022	REPETIR Q1	PSF	MULTIMAG	TM-II	B-30-L/H	14002414	442
VOL	ART	15	12/01/2022	REPETIR Q1	PSF	TECNOBRAS	TM-II	B-30-L/H	326964	3252
VOL	PV	15	18/01/2022	REPETIR	PSF	ITRON	AQUADIS	C-15-L/H	1348427	1298
VOL	PV	15	18/01/2022	REPETIR	PSF	ITRON	AQUADIS	C-15-L/H	1345881	2805
VOL	PV	15	18/01/2022	REPETIR	PSF	ITRON	AQUADIS	C-15-L/H	1225967	1871
VOL	PV	15	18/01/2022	REPETIR	PSF	ARAD	PD	C-15-L/H	03175694	3908
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1 Q2	PSF	ACTARIS	TM-II	B-30-L/H	07420066	5355
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ARAD	MJ	B-30-L/H	1105854	2598
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ARAD	MJ	B-30-L/H	0872097	2780
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ARAD	MJ	B-30-L/H	23220	5060
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1	PSF	MULTIMAG	TM-II	B-30-L/H	14002352	886
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1	PSF	ACTARIS	TM-II	B-30-L/H	08452808	1519
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR Q1	PSF	TECNOBRAS	TM-II	B-30-L/H	243237	3510
VOL	ART	15	20/01/2022	REPETIR	PSF	ARAD	Q-15-NUEVO	R-50	1752304	989
VOL	ART	15	31/01/2022	REPETIR	PSF	ITRON	AQUADIS	C-15-L/H	1328470	1067
VOL	ART	15	31/01/2022	REPETIR	PSF	ARAD	PD	C-15-L/H	082331	1292
VOL	ART	15	31/01/2022	REPETIR	PSF	ARAD	PD	C-15-L/H	11241510	2530
VOL	ART	15	10/02/2022	REPETIR	PSF	FAE	DELTA	R-50	14028230	1775
VOL	ART	15	10/02/2022	REPETIR	PSF	FAE	DELTA	R-50	14028985	1056
VOL	ART	15	10/02/2022	REPETIR	PSF	FAE	DELTA	R-50	14094982	2432
VOL	ART	15	10/02/2022	REPETIR	PSF	FAE	DELTA	R-50	14052887	419
VOL	ART	15	10/02/2022	REPETIR	PSF	FAE	DELTA	R-50	14029475	1122
VOL	PV	15	10/02/2022	REPETIR	PSF	FAE	DELTA	R-50	14050197	1175
VOL	PV	15	02/03/2022	REPETIR Q2	PSF	KENT	PSM	B-30-L/H	9150356	8634
VOL	PV	15	17/03/2022	REPETIR	PSF	ARAD	PD	C-15-L/H	07503925	99450

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
BANC	TIPO		FECHA	NIS	ANALIS	MARCA	MODEL	PRINCIPIO	MEDIDO	LECTUR
GRAV	ART	15	16/02/2022	REPETIR Q2	JJC	FAE	DELTA	R50	14032654	1158
GRAV	PV	15	24/02/2022	REPETIR Q2	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201851782	0
GRAV	PV	15	24/02/2022	REPETIR Q2	JJC	AIMEI	MD-K15	R80	201842265	73
GRAV	PV	15	08/04/2022	REPETIR Q3	JJC	FAE	DELTA	R50	14046133	2299
GRAV	PV	15	30/06/2022	REPETIR	JJC	BARMETER	MT-KD-P	B=30L/H	03131674	1120

Ilustración 26: Matriz de prueba de medidores DN15 del Laboratorio de Flujo del AyA.

## Selección de equipos y recopilación de información



Ilustración 27: Banco de pruebas medidores DN15 (Laboratorio de Flujo)

Este banco de pruebas fue comprado en México, por medio de la empresa AQUAWORKS, tiene transductores de presión, válvulas neumáticas, balanza, pantalla HMI, cierre de la bancada con pistón neumático.

Con base en la información recopilada anteriormente y tomando referencias sobre este banco de pruebas ya que es el primero que el Laboratorio desea acreditar bajo la norma INTE/ISO 17025 se seleccionaron los equipos similares que se adapten para automatizar el banco de pruebas DN15 marca Ford que cuenta con al menos 25 años de antigüedad y así ponerlo en camino a la acreditación. Inicialmente el banco de pruebas Ford se encontraba de esta manera,



Ilustración 28: Bancada de pruebas #2 Ford DN15, 6 medidores.

El banco al ser mecánico en sus accesorios facilitó el poder cambiar algunos componentes, manteniendo la estructura principal del banco y así no incurrir en un gasto mayor. La idea principal fue que la prueba finalizará de manera automática por lo que se decidió instalar una válvula neumática con un diámetro de 25mm en sustitución de una llave de bola de 25mm utilizada para finalizar las pruebas.

Se selecciono el equipo que cumpliera con los siguientes parámetros;

<b>Válvula neumática</b>					
Diametro	Q min	Q Max	Temperatura	Alimentación	Material
25mm	15L/h	2500L/h	20 a 29 C	120V	INOX

Se tomó como referencia esta información se decidió adquirir una válvula con actuador neumático Bray Controls series 92/93 como la de la siguiente imagen, el parámetro mas importante que se tomó en cuenta fue el diámetro, ya que no se deseaba modificar en el banco por temas de espacio y costos.



Ilustración 29: Actuador neumático Bray CONTROLS

Una vez seleccionado el actuador neumático es necesario un panel de control para alimentarlo y también instalar un temporizador, por lo que se hizo un diseño en un programa CADE SIMU para simular como sería el panel de control que se requiere y que componentes son necesarios comprar.

Simulación de diseño de control para una válvula con actuador neumático.

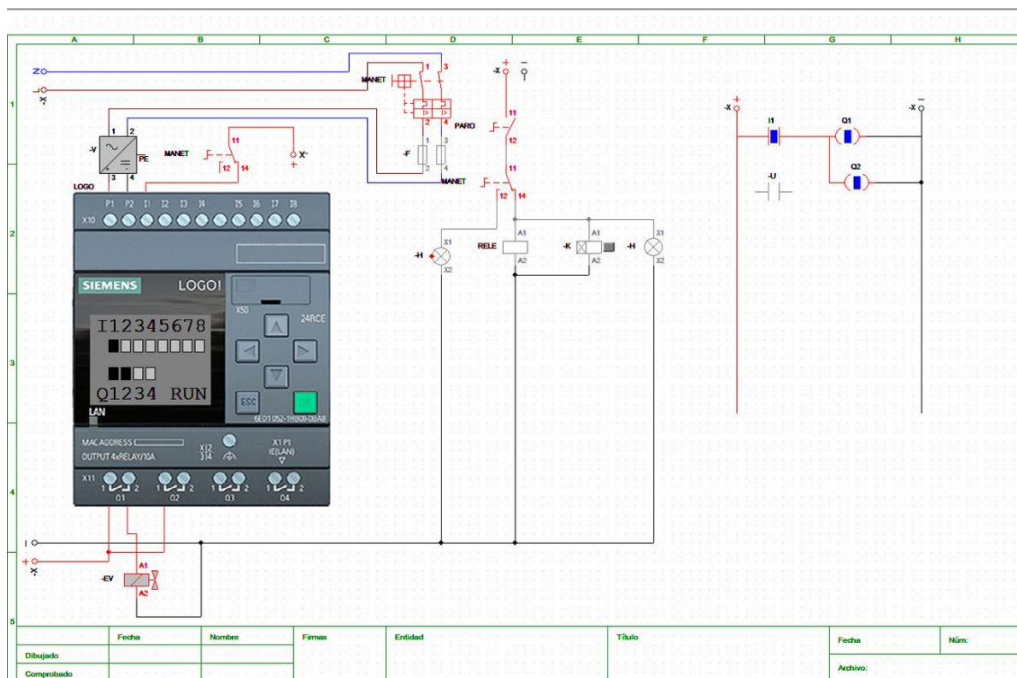


Ilustración 30:Figura 18: Diseño del panel de control en programa CADE SIMU (diseño propio)

Programa utilizado: CADE SIMU

Inicialmente este sería el panel de control para temporizar la apertura de la válvula de bola con actuador neumático. Se tomó en cuenta algunos requerimientos para la instalación del equipo y el manejo de este por parte de los analistas como lo son:

- Se escogió un panel un poco más grande y el LOGO para futuras instalaciones de otros equipos.
- Todos los equipos deben ser adquiridos por medio de compras por caja chica y no licitación.
- Se cuenta con alimentación 120v/240v como prevista.
- Los bancos cuentan con una salida de 1in por lo que la válvula de bola debe ser del mismo tamaño.
- El temporizador debe ser de fácil programación.

**Compra de equipos necesarios.**

<b>Nombre de equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Empresa</b>
Fuente 24 VDC para riel din, 3.2 ah	1 unidad	INDUNI
Controlador lógico programable (PLC) de 16 in/out, ethernet	1 unidad	CNERGY
Válvulas de aguja 3/4	3 unidades	CENTRAL DE VÁLVULAS
Válvulas de aguja de 1/2	3 unidades	CENTRAL DE VÁLVULAS
Válvulas de aguja de 1/4	3 unidades	CENTRAL DE VÁLVULAS
Válvula Neumática 1" (electroválvula)	1 unidad	TECNOSAGOT
Luz piloto led verde de 22mm, 24vdc	1 unidad	MAZ
Metro de cable para control TFFN calibre #16 AWG con forro negro	20mts	SIESA
Borne de conexión de 4mm <sup>2</sup> color gris	30 unidades	MAZ
Borne de conexión de 4mm <sup>2</sup> color verde	8 unidades	MAZ

Cronometro contador para panel de control	1 unidad	INDUNI
Canaleta ranurada de 40x60 mm	6mts	SIESA
Fusible de 10x38 de 3 o 4 Amperios	12 unidades	SIESA
Disyuntor de un polo de 6 o 4 Amperios	3 unidades	MAZ
Tubo Conduit y sus conexiones	20mts	ENERCOM
Caja de conexiones cuadrada	3 unidades	INDUNI

Algunas fotos del proceso de fabricación del panel:

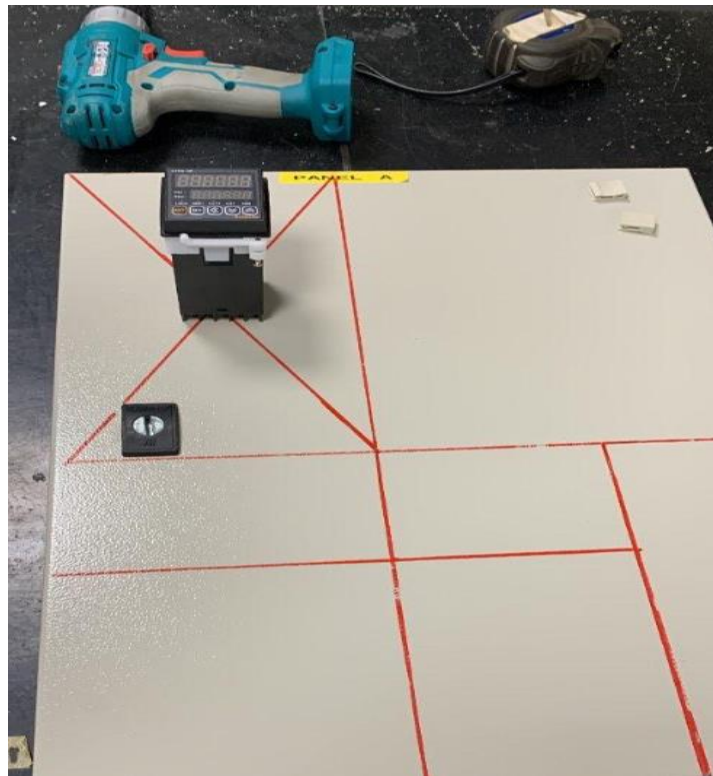


Ilustración 31: Toma de medidas para puerta de panel de control

Inicialmente se tomaron algunas medidas en la tapa del panel para colocar el temporizador, botón pulsador, maneta de 3 posiciones, luces indicadoras y paro de emergencia.

Luego de esto se procedió a hacer el diseño interno del panel, con los equipos ya comprados los acomodamos para ver de qué manera se lograban acomodar y así instalar las canaletas por donde irían cables de potencia y control.

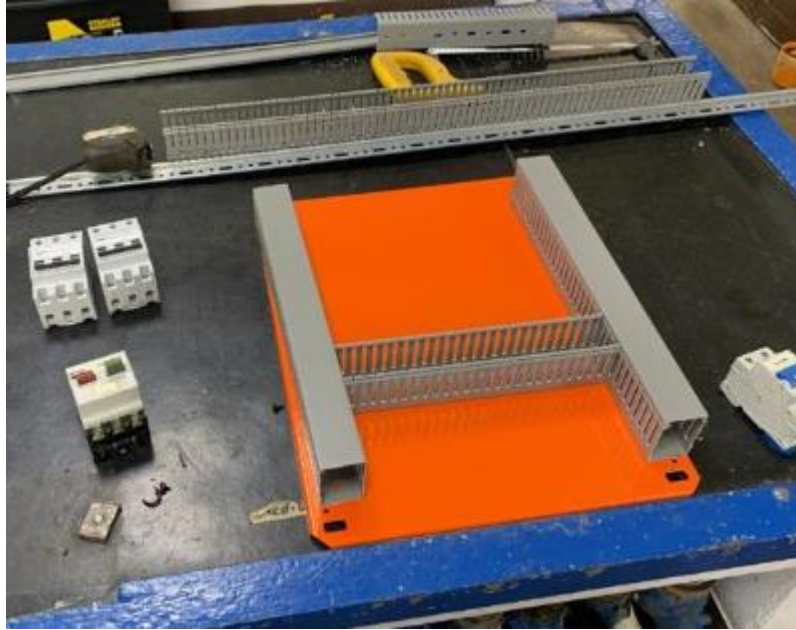


Ilustración 32: Colocación de equipos a lo interno del panel

Se ensamblaron los equipos usando el diagrama eléctrico realizado en CADE SIMU, se hicieron pruebas de activación del relé de contacto para el encendido y apagado de la válvula neumática.

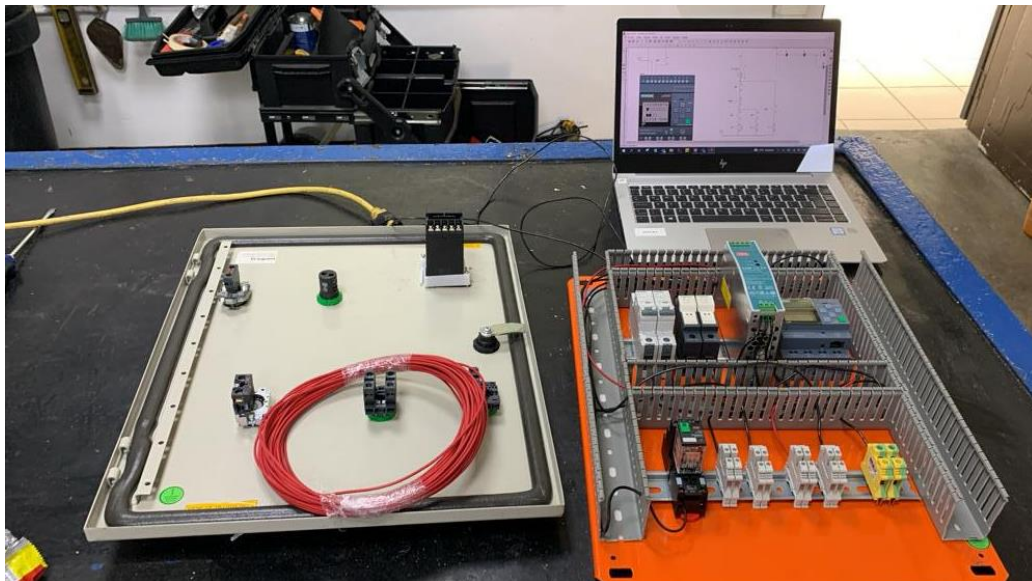


Ilustración 33: Ensamble y prueba de equipos.

Una vez probado el panel de control y configurados tanto el LOGO como el temporizador se procedió a integrarlo al banco de pruebas.



Ilustración 34:Panel de control ensamblado.

Tanto el LOGO como el panel fueron comprados pensando en espacio, entradas y salidas suficientes para futuras instalaciones (actualizaciones o ampliaciones).

Después de esto se instaló la válvula neumática marca BRAY controls de 25 mm en el banco Ford DN15 y así conectarla al panel de control por medio de una tubería Conduit de 19 mm y sus respectivos conectores.



Ilustración 35:Instalación de válvula neumática

La presión de operación de la válvula neumática según varias mediciones es la siguiente:

Presión de operación de válvula neumática	
Medición	Presión (bar)
1	4.20
2	4.10
3	4.60
4	4.70
5	4.40
6	4.02
Promedio	4.34

Podemos ver que las variaciones no son representativas en cuanto a la presión del sistema.

### **Consumo eléctrico del panel de control banco #2**

Los equipos del panel de control se encuentran alimentados por una fuente de voltaje que actualmente en funcionamiento, está consumiendo alrededor de 1A (amperio) según varias mediciones realizadas, los datos obtenidos fueron los siguientes:

Equipo	Amperaje	Voltaje
Fuente de voltaje	1.04 A	24VCD
Fuente de voltaje	1.03 A	24VCD
Fuente de voltaje	1.04 A	24VCD
Fuente de voltaje	1.06 A	24VCD

Los equipos que presentan consumo en la fuente son los presentados en la siguiente tabla:

<b>Equipo</b>	<b>Tensión</b>
Controlador lógico programable (PLC) de 16 in/out, ethernet	24 VCD
Válvula solenoide para uso en actuador neumático 3 vías 2 posiciones IP65	24 VCD
Temporizador/Contador CT6 48x48mm 24-48 C/DC 2 salidas.	24 VCD
Luz piloto encendido (verde)	24 VCD
Luz piloto apagado (roja)	24 VCD

Tomando este consumo lo podemos multiplicar por el voltaje 24 VCD y así obtener los Watts, quedaría de la siguiente manera

$$V * I = P$$

Donde (V) es voltaje, (I) corriente y (P) potencia, despejando obtenemos

$$24 \text{ VCD} * 1 \text{ A}/1000 = 0.024 \text{ kW}$$

## **Instructivo para uso de panel de control Banco No 2**

### Componentes:

- Panel de control
- PLC Siemens tipo LOGO (programación manual)
- Fuente de voltaje de 24VCD
- Disyuntores
- Porta fusibles
- Relé de contacto de 24VCD
- electroválvula NC de 24VCD
- Temporizador-Contador de 24VCD
- Botón paro de emergencia
- Botón pulsador (color negro)
- Maneta de 3 posiciones NO
- Luces indicadoras en color verde y rojo de 24VCD
- Medidor de caudal ultrasónico de 12mm
- Medidor de caudal ultrasónico de 25mm
- Llaves de bola y aguja para regular el caudal

Objetivo: Optimizar los tiempos en pruebas volumétricas a realizar en dichos bancos, con el objetivo de detener las pruebas de manera automática y a su vez disminuir en gran cantidad el % de error de medida.

Importante: el panel NO se debe apagar del disyuntor de desconexión. Estos dispositivos (disyuntores) no son de apagado y encendido funcionan como una protección ante un pico de corriente, ellos se disparan para proteger el panel, en el caso del panel no requiere porque el Logo entra en un estado de hibernar y no se encuentra consumiendo corriente más que la necesaria para la luz roja que indica los equipos apagados (EV cerrada) pero también nos indica que el panel está alimentado.

Términos:

NO: Contacto normalmente abierto

NC: Contacto normalmente cerrado

V: Voltaje

CD: Corriente directa

EV: electroválvula

**En caso de emergencia presionar inmediatamente el botón paro de emergencia, esto desconecta los equipos por completo.**

Pasos para la operación de los paneles #2 y #3 en la prueba de medidores DN15-DN20

Paso 1: Verificar que tenga luz roja encendida y el botón paro de emergencia no esté presionado, si está presionado soltarlo y si la luz roja no enciende informar a un encargado, no abrir el panel ni manipular a lo interior.

(Botón paro de emergencia presionado)



(Equipos apagados)



Paso 2: Girar la maneta de 3 posiciones del centro (contador apagado) a la derecha (contador encendido)



Paso 3: Colocar en el contador los segundos de prueba (tiempo que estará la EV abierta), con la flecha izquierda se desplaza hacia el dígito que se desee editar, con las flechas arriba y abajo se aumenta o disminuye el dígito, el botón MD se presiona después de configurar los segundos requeridos.

Los segundos tienen 1 decimal por lo que se pueden colocar 25,5 segundos.



Paso 4: Presionar el botón negro (pulsador) solo tocar y soltar, con esto se accionará la EV y se encenderá la luz verde de operación, cuando el contador llegue al tiempo establecido se apagará (cierra EV).



Paso 5: Si se desea reiniciar la prueba (cerrar la EV) antes del tiempo establecido se puede presionar el botón reseteo (Reset), este cerrará la EV devuelve el contador a cero a la espera de la señal del botón pulsador para volver a iniciar.



Paso 6: Al final del día se debe apagar únicamente el contador girando la maneta de 3 posiciones en el centro.



## Aumento en la precisión de las pruebas

Instalados los equipos se empezó a registrar en las matrices las pruebas de medidores con este equipo durante unos meses y de esta manera registrar el aumento en la precisión al usar una válvula neumática. Se diseñó una tabla para uso de los analistas donde dependiendo del medidor a probar pueden observar en esta tabla los caudales que deben utilizar como el tiempo en segundos que deben programar para la prueba.

INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS											
Tabla para uso de pruebas de medidores											
MARCA	DIAMETRO (mm)	CLASE METEOROLOGICA	Q3 (L/hr)	Q3 (kg)	Tiempo (segundos)	Q2 (L/hr)	Q2 (kg)	Tiempo (segundos)	Q3 (kg)	Q1 (L-hr/kg)	Tiempo (segundos)
ARAD	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
ARAD	12	C	1500	100	250	22.5	10	1510	15	10	2190
ARAD	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
ARAD	19	B	2500	100	155	200	20	354	50	10	716
ARAD	25	B	5000	400	290	400	50	450	100	10	350
ARAD, LLIANLY	25	B	3500	300	305	280	20	240	70	10	500
ARAD	12	R50	1600	100	250	51.2	10	680	32	10	1050
KENT	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
KENT	19	B	2500	100	150	200	20	350	50	10	680
ELSTER	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
IBERCONTA	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
MULTIMAG	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
TECNOBRAS	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
ACTARIS	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
ITRON	12	C	1500	100	250	22.5	10	1510	15	10	2400
BARMETER	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
BADGER	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
FAE	12	R50	1600	100	250	52.5	10	680	32	10	1050
RYM	12	B	1500	100	250	120	20	600	30	10	1130
BAYLAN	19	R160	2500	100	155	25	10	1330	15.62	10	2310
ZENNER, DH	19	B	2500	100	155	200	20	350	50	10	726
AIMEI	12	R80	2500	100	204	50	10	680	31.25	10	1100
AIMEI	12	R160	2500	100	155	25	10	1415	15.62	10	2275

Ilustración 36: Tiempos para prueba de medidores según clase y diámetro.

Tomando datos de las matrices probando de esta manera notamos la precisión de la prueba ya que la balanza llega al volumen deseado según los segundos de prueba programados.

LECTURA INICIAL 2 (Litros)	LECTURA FINAL 2 (Litros)	PORCENTAJE DE ERROR	TIEMPO (SEGUNDOS)	PRESION 2 (bar)	VOLUMEN 2 (kg)
335.20	354.52	-6.49%	600.00	5.35	20.66
985.55	1009.30	-40.00%	600.00	5.35	20.66
393.96	413.34	-62.00%	600.00	5.35	20.66
386.26	386.26	-100.00%	600.00	5.35	20.66

En la imagen anterior se puede observar una prueba a un caudal de 120L/h que debe finalizar cuando la balanza registre 20kgf, al colocar en el temporizador en 600 segundos la balanza se detiene cuando marca 20,6 siendo un dato mucho más preciso y confiable. Además, las pruebas pueden exceder el resultado de la balanza en +- 0.5, por lo que de esta manera nos aseguramos de que las pruebas finalicen dentro de este rango y sean válidas.

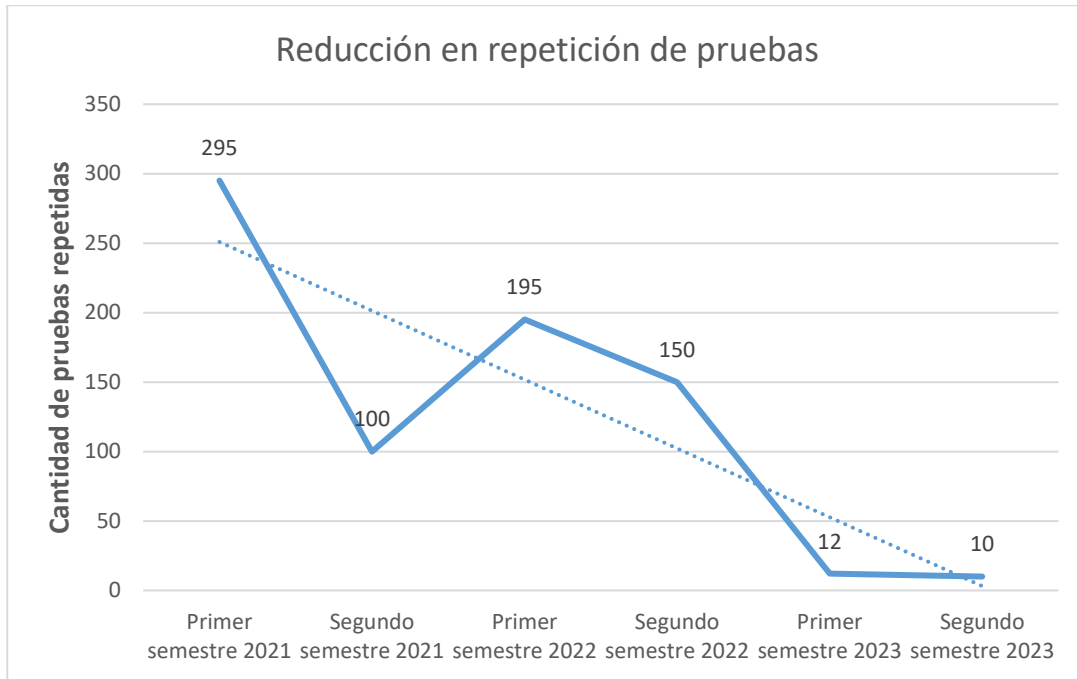
### **Disminución en la repetición de pruebas**

Se evaluaron los años 2021, 2022, 2023 para obtener el porcentaje en disminución de repetición de las pruebas y se obtuvieron los siguientes datos.

<b>Reducción porcentual de la repetición de pruebas</b>			
Periodo	Cantidad de pruebas repetidas	Diámetro de medidores	Total, de pruebas
Primer semestre 2021	20.6%	DN15	1432
Segundo semestre 2021	6.8%	DN15	1617
Primer semestre 2022	4.75%	DN15	4105
Segundo semestre 2022	3.54%	DN15	4236
Primer semestre 2023	0.29%	DN15	4135
Segundo semestre 2023	0.31%	DN15	3208

Se puede observar cómo en 2023 hay una disminución de un 90% en comparación con el primer semestre del 2021.

**Gráficamente podemos observar los resultados de la siguiente manera.**



Aún en 2023 podemos observar algunas repeticiones de pruebas que están asociadas a cortes del suministro eléctrico. Sin embargo, esta disminución de prácticamente el 100% de pruebas repetidas permite al Laboratorio tener un mejor tiempo de respuesta e invertir las horas de tiempo extra usadas para pruebas repetidas en otras tareas necesarias.

### **Análisis Financiero**

En este proyecto se analizará el costo total, horas de mano de obra invertidas por el funcionario y el consumo energético que presenta de ahora en adelante el banco de prueba de medidores con equipos electromecánicos, así como su ahorro en el gasto al no tener que generar tiempo extra para la repetición de estas pruebas.

Inicialmente el consumo del panel mensualmente al usarlo un aproximado de 6 horas laborales efectivas sería:

Amperaje (A)	Voltaje (Vcc)	Potencia (kW)
1,02	24	0,02448
1,36	24	0,03264
1,24	24	0,02976
1,08	24	0,02592
0,99	24	0,02376
Promedio		0,027312

Con este consumo promedio de 0,027312 kW y el costo de kWh que es de ₡44 según CNFL en una franja horaria 7:00am a 10:00am, para el restante de la jornada se utilizó la misma tarifa (dato consultado en página oficial el 11 de noviembre del 2023) y un uso aproximado de 6 horas diarias obtenemos un consumo de 0,163872 kWh por día, si multiplicamos este consumo diario por 22 días obtenemos el consumo mensual que sería de 3,6051kW, con un costo de ₡44 el kW nos daría un gasto de ₡158.62 en cuanto al consumo mensual del panel de control para el banco #2 y ₡1 903.53 anuales.

Seguidamente se calcularon los costos de las repeticiones de pruebas semestralmente, para evidenciar el gasto que genera para el Laboratorio y usarlo como parte del análisis financiero, cada prueba repetida requería de al menos 2 horas extra después de la jornada ordinaria, por lo que se calculó de la siguiente manera:

Con estos datos de la tabla anterior podemos observar el primer semestre 2021 donde tenemos 295 repeticiones genera un gasto de ₡1,757,020.00, comparado al primer semestre del 2023 con 12 repeticiones y un gasto de ₡71,472.00, generando una reducción del gasto para la institución de ₡1,685,548.00 comparando el primer semestre 2021 con el primer semestre 2023.

Para los cálculos del VAN y TIR se tomó la tasa de interés neta máxima de captación e inversión financiera de entidades públicas del Banco Central de Costa Rica, siendo un 5,530% para un plazo de seis meses.

Para el cálculo de VAN y TIR se evaluará por semestre sin el uso del proyecto comparado con los dos semestres del 2023 utilizando los equipos instalados. Lo anterior, bajo el entendido de que los meses de noviembre y diciembre 2023 fueron proyectados, dado que, para la fecha de finalización del presente proyecto el mes en curso fue noviembre 2023.

Se compararon los años 2021 y 2023, el 2022 no se utilizó para el análisis financiero ya que en ese año se le hicieron varias modificaciones al banco aparte de la instalación y uso de este proyecto, por lo que para observar los datos de una manera más confiable se van a comparar los años 2021 y 2023 con el proyecto ya instalado y en uso.

### Costo de inversión del proyecto

Nombre de equipo	Costo unitario con IVA	Cantidad	Costo total con IVA	Posición Financiera	Empresa
Fuente 24 VDC para riel din, 3.2 AH	€79,000.00	1	€89,270.00	2.04.02	INDUNI
Controlador lógico programable (PLC) de 16 in/out, ethernet	€129,090.78	1	€145,871.78	2.04.02	CENERGY
Válvulas de aguja 3/4	€38,441.47	3	€115,324.41	2.04.02	CENTRAL DE VÁLVULAS
Válvulas de aguja de 1/2	€21,944.23	3	€65,832.68	2.04.02	CENTRAL DE VÁLVULAS
Válvulas de aguja de 1/4	€17,656.25	3	€52,968.75	2.04.02	CENTRAL DE VÁLVULAS
Válvula Neumática 1" (electroválvula)	€307,810.87	1	€307,810.87	2.04.02	TECNOSAGOT
Luz piloto led verde de 22mm, 24vdc	€1,600.00	1	€1,808.00	2.04.02	MAZ
Metro de cable para control TFFN calibre #16 AWG con forro negro	€222.69	20	€4,453.83	2.03.04	SIESA
Borne de conexión de 4mm <sup>2</sup> color gris	€802.30	30	€24,069.00	2.04.02	MAZ
Borne de conexión de 4mm <sup>2</sup> color verde	€4,972.00	8	€39,776.00	2.04.02	MAZ
Cronometro contador para panel de control	€132,599.85	3	€397,799.55	2.03.04	INDUNI
Canaleta ranurada de 40x60 mm	€7,028.60	6	€42,171.60	2.04.02	SIESA
Fusible de 10x38 de 3 o 4 Amperios	€1,340.18	12	€16,082.16	2.03.04	SIESA
Disyuntor de un polo de 6 o 4 Amperios	€5,876.00	3	€17,628.00	2.03.04	MAZ
<b>TOTAL</b>			<b>€1,540,000.14</b>		

Costo de operación sin las mejoras:

Cantidad de repeticiones	Semestre	Horas de prueba requeridas	Costo mano de obra a 1,5	Total
295	2021	2	€2,978.00	€1,757,020.00
100	2021	2	€2,978.00	€595,600.00

Costo de operación con el proyecto en uso:

Cantidad de repeticiones	Semestre (2023)	Horas de prueba requeridas	Costo mano de obra a 1,5	Costo del consumo eléctrico del panel	Total
12	1	2	€2,978.00	€951.77	€72,423.77
10	2	2	€2,978.00	€951.77	€60,511.77

Años 2021 y 2023.

Comparación de costos de operación			
Periodo	Costo sin el proyecto (2021)	Costo con el proyecto (2023)	Ahorro semestral
Semestre 1	€1,757,020.00	€72,423.77	€1,684,596.23
Semestre 2	€595,600.00	€60,511.77	€535,088.23

Se realizará el cálculo del VAN y CAUE comparando los años 2021 y 2023 y dividiéndolo por semestre para un mejor análisis de los datos, con los valores de las tablas antes descritas se puede calcular el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR), colocando los valores en la fórmula obtenemos el siguiente resultado.

$$VAN = -1540000.14 + \frac{1684596.23}{(1 + 0.0553)} + \frac{535088.23}{(1 + 0.0553)^2} = €678161.94$$

El cálculo de TIR lo obtenemos de la siguiente manera:

$$1\ 499\ 856.08 = \frac{1684596.23}{(1 + TIR)} + \frac{535088.23}{(1 + TIR)^2} = TIR = 35.107\%$$

Obtenidos estos datos podemos observar que el proyecto es totalmente viable ya que el VAN es positivo lo que indica ganancias y el TIR mayor que la tasa de interés.

Se realizará el cálculo del costo anual uniforme equivalente CAUE de la siguiente manera:

Para los cálculos CAUE se tomó la tasa de interés neta máxima de captación e inversión financiera de entidades públicas del Banco Central de Costa Rica, siendo un 5,532% para un plazo de doce meses.

La fórmula para el cálculo del CAUE es la siguiente:

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

$$CAUE = 678161.94 \times \left[ \frac{0.0553(1 + 0.0553)^2}{(1 + 0.0553)^2 - 1} \right]$$

$$CAUE = \text{¢}367\,459,99$$

Teniendo estos valores podemos decir que el proyecto es totalmente viable ya que el VAN es positivo y genera ahorro siendo una institución gubernamental que no genera ganancias sino un ahorro en el gasto, además siendo el CAUE menor que los costos de operación sin mejoras se define que es viable realizar el proyecto.

## **Propuesta**

La automatización de equipos en el entorno de laboratorio ha surgido como una solución efectiva para abordar la repetición de pruebas, un problema que ha persistido a lo largo de muchos años, además como una solución tecnológica prometedora para reducir significativamente la necesidad de repetir pruebas, minimizando los errores humanos y aumentando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Se instaló un panel Legrand IP68 58X40, con un PLC tipo logo de SIEMENS y un temporizador CT6 48X48 24VCD 2 salidas para automatizar las pruebas mediante una válvula neumática BRAY CONTROLS modelo S92, de esta manera hubo una reducción considerable en la repetición de pruebas.

Se diseñó una tabla para los analistas de las pruebas donde pueden observar los segundos de prueba según el medidor a probar y así poder programar en el temporizador contador los segundos que la válvula neumática va a permanecer abierta.

Se hicieron evaluaciones sobre presiones de operación del sistema, tiempo que tarda cerrando, así como sus parámetros eléctricos.

## Conclusiones

- Se redujo la repetición de pruebas a medidores de caudal en un 90% al utilizar equipos electromecánicos temporizados para mejorar el tiempo de respuesta del Laboratorio de Flujo del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y resolver reclamos presentados en el departamento de financiero por consumos anómalos en los recibos de agua en el consumo del hidrómetro.
- Se identificaron las carencias electromecánicas del sistema mediante un levantamiento de equipos actuales y una comparación de fichas técnicas usadas en la actualidad por otros laboratorios acreditados para el cumplimiento de la norma INTE/ISO 17025, de esta manera se evidenció que el equipo no contaba con equipos automatizados.
- Se seleccionaron los equipos necesarios con base en un análisis de las fichas técnicas y manuales para realizar el diseño del panel que mejor se adapte a las necesidades del banco de pruebas tales como fuente de tensión, relé de contacto, PLC tipo LOGO y una válvula de bola con actuador neumático al tomar en cuenta aspectos como diámetro de tubería ya existente, alimentación del panel y sus dimensiones.
- Se aumentó la precisión de las pruebas en un 100% ya que al finalizar de manera temporizada se elimina el error de un cierre tardío de válvulas manuales y se aumenta la capacidad de las pruebas realizadas, para así eliminar la repetición de pruebas, esto mediante la implementación de equipos electromecánicos con tecnología para optimizar pruebas de ensayo y así agilizar la cola de reclamos y mejorar tiempos de respuesta a los reclamos presentados por abonados al departamento de financiero por errores de facturación, lo cual genera una mayor seguridad en los equipos y fiabilidad de la prueba al finalizar de manera automática.
- Se realizó una evaluación financiera para determinar que el proyecto es viable y se obtuvo un valor positivo de indicador económico CAUE de  $\$367\,459,99$  y un porcentaje de TIR de 35.107%, así como los ahorros generados, para determinar el beneficio económico. En el cual se demostró que los costos por repetición de las pruebas en horas extras son muy elevados y a su vez dirigir este gasto en otras actividades que beneficien el Laboratorio.

## Recomendaciones

- Se recomienda hacer un estudio para la instalación de un sistema para mejorar la calidad de aire que recibe la válvula neumática ya que no cuenta con un secador ni con un separador de humedad, según lo que indica la norma ISO 8573 en el apartado 1.4.1.
- Se recomienda añadir más sensores al banco como lo son transductores de presión y un higrómetro para cumplir con los parámetros necesarios solicitados por la norma INTE/ISO 17025.
- Se recomienda verificar semanalmente que no haya obstrucciones en las tuberías o válvulas, ya que los medidores son probados tal y como ingresan al Laboratorio y en su mayoría vienen con piedras pequeñas, residuos de PVC entre otros.
- Se recomienda comprar una pantalla HMI para que sea más fácil de usar y así poder visualizar parámetros, esto requiere una programación y una interfaz, pero permite visualizar parámetros en la pantalla de una manera más cómoda para el analista y así tomar los datos respectivos.
- Se recomienda establecer un plan de mantenimiento preventivo que incluya los filtros de este banco, llaves de regulación de caudal y la válvula de bola con actuador neumático y de esta manera prevenir un atasco en los rotámetros o medidores de caudal durante una prueba.
- Se recomienda la instalación de un generador eléctrico para las bombas que alimentan los bancos de prueba, así como UPS que ya fueron solicitadas al departamento de TI de AyA para los paneles de control, ya que cualquier falla en el suministro eléctrico durante una prueba la hace no válida y debe repetirse la misma.
- Se recomienda la compra de empaques de 12mm de diámetro y 3mm de ancho de manera que se puedan utilizar cuando un medidor fuga y de esta manera poder probarlo.
- Se recomienda etiquetar el panel de control con etiquetas profesionales.

## Anexos

Cotización sobre LOGO:



**CNERGY SOLUTIONS C.R. SOCIEDAD ANONIMA** **Lo inteligente es automatizar**  
75 m al este del plantel del AyA  
San José  
Costa Rica

INSTITUTO COSTARRICENSE DE  
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS  
Diagonal al cuerpo de boombros , Edificio A  
primer piso  
San José  
Costa Rica  
Cédula: 4-000-042138

## Presupuesto # SO2104

**Fecha de presupuesto:** 09/03/2022 08:42:35  
**Comercial:** Cristhian Calvo Morales  
**Términos de pago:** 30 Días  
**Fecha de caducidad:** 08/04/2022

#	Fecha de compromiso	Descripción	Precio		
			Cantidad	unidad	Importe
1	09/03/2022	[6ED10521MD080BA1] LOGO! 12/24RCE, mód. lógico, display FA/E/S: 12/24 V DC/relé, 8 DI (4 AI)/4 DO, mem. 400 bloques, posibilidad de ampliación modular, Ethernet, servidor web integrado, Datalog, páginas web personalizadas, tarjeta microSD estándar para LOGO! Soft Comfort a partir de V8.3, proyectos anteriores ejecutables conexión a la nube en todos los aparatos base LOGO! 8.3 SIEMENS	1,00	129 Unidad(es)	IVA 13% ₡ 129 090,78 090,78
2	09/03/2022	VALVULA SOLENOIDE 2V 24V DC NC U/GNRL ASCO 8210G004 1"	1,00	235 Unidad(es)	IVA 13% ₡ 235 768,00 768,00

Plazo de entrega línea 1 es de 3 días hábiles, salvo venta previa.  
Plazo de entrega línea 2 es de 2-3 semanas.

<b>Subtotal</b>	₡ 364 858,78
IVA 13% en ₡ 364 858,78	₡ 47 431,64
<b>Total</b>	₡ 412 290,42

Cotización de equipos para el panel de control



## ELECTRO MAZ LTDA

Sucursal Tibas  
3-102-186909  
75M ESTE DE PLYWOOD PARK  
40002997  
info@mazcr.com

### Cotización No.00077798

<b>Cliente:</b>	INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS	<b>Vendedor:</b>	ALEJANDRO ACUNA
<b>Teléfono:</b>	25436584	<b>Correo:</b>	aacuña@mazcr.com
<b>Contacto:</b>	Jeffrey Benavides Arroyo 22425000 ext 3393	<b>Teléfono:</b>	8545 2564
<b>Dirección:</b>	SAN JOSÉ - SAN JOSÉ - URUCA / 50MTS OESTE DEL SINART	<b>Moneda:</b>	Local
<b>Email:</b>	puba@aya.go.cr	<b>Tipo Pago:</b>	Crédito
<b>Fecha:</b>	12-05-2022	<b>T. Entrega:</b>	ENTREGA INMEDIATA SALVO VENTA PREVIA

Línea	Código	Código Cabys	Descripción	Cantidad	Precio Uni.	Total
1	02-15-030	4612202020000	FUENTE DE PODER CON SALIDA DE 24 VDC 3 A RIEL DIN	1.00	40,700.00	40,700.00
2	04-56-062	4393101029900	VENTILADOR AXIAL 119 X 119 X 38MM 24VAC FLUJO 93CFM	1.00	48,508.80	48,508.80
3	04-28-002	4691002019900	LUZ PILOTO 24 VAC/VDC 22MM VERDE	1.00	1,600.00	1,600.00
4	04-50-054	4634002029900	CABLE #16 1.5mm2 NEGRO	1.00	335.83	335.83
5	04-50-052	4634002029900	CABLE #16 1.5mm2 ROJO	1.00	322.39	322.39
6	04-41-015	4621299990000	BORNERA JCUK 4MM2-12AWG 800V 32AMP GRIS SENCILLA	1.00	710.00	710.00
7	04-41-002	4621299990000	BORNERA JCUK 10MM2-8AWG 800V 57AMP PARA TIERRA AMARILLA/VERD	1.00	4,400.00	4,400.00
8	04-58-073	3695099020000	CANALETA PLASTICA RANURADA 40 x 40 MM x 2M LARGO	1.00	3,909.10	3,909.10
9	02-20-080	4715003990000	SENSOR CAPACITIVO CR 100-240VAC DIAM.18MM SENS.8MM NC	1.00	33,600.00	33,600.00
10	04-22-009	4621201009900	FUSIBLE DE PORCELANA 10.3 DIA X 38 LARGO 4AMP	1.00	788.00	788.00
11	04-14-026	4621203009900	BREAKER NB1 1 POLO-6A UL	1.00	5,200.00	5,200.00

**Monto en letras:** CIENTO CINCUENTA Y OCHO MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y TRES CON 75/100

**Validez de Cotización:** 8

**Fecha de Vencimiento:** 11/06/2022

**Términos y condiciones** 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>	c	140,074.12
<b>Descuento:</b>	c	0.00
<b>Total:</b>	c	140,074.12
<b>Impuesto:</b>	c	18,209.63
<b>Otros cargos:</b>	c	0.00
<b>Total Neto:</b>	c	158,283.75

\*\*\*Con la aceptación de esta cotización, acepta términos y condiciones. Esta propuesta es nuestra

Cotización sobre el temporizador contador:

Alajuela, 16 de marzo 2022

**PROFORMA NO. 2022-00009**

Para: Jeffry Benavides  
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

El Taller Eléctrico Induni S.A. cédula jurídica: 3-101-062195, tiene el agrado de presentar oferta formal de acuerdo al siguiente desglose:

Línea	Detalle	Cantidad	Unidad	Precio Unit	Precio Total
1	Temporizador/Contador CT6 48x48 mm 24-48 C/DC 2 salida.	2	C/U	₡ 117,345.33	₡ 234,690.66
IVA				13%	₡ 30,509.79
<b>Monto total:</b>					<b>₡ 265,200.45</b>

**Garantía: 12 meses en equipo nuevo**

**Forma de Pago: Usual del Gobierno**

**Validez de la Oferta: 30 días naturales**

Cotización fuente de voltaje:



**Almacén Eléctrico Induni S.A.**

CED. JUR. 3-101-099923  
TEL: (506) 2440-0060  
Alajuela, de los Tribunales de Justicia  
500 mts al noroeste  
www.grupoinduni.com - info@grupoinduni.com

**Cotización No.  
COT-00019342**

**Fecha:** 14-09-2022

**Cliente: 000911 INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**

**Dirección:**

**Contacto:**

**Teléfono** 506-22425000

**Vendedor:** Alonso Salazar

asalazar@grupoinduni.com

**Pedido:** -

Código	Detalle de Mercadería o Servicios	Cantidad	Precio	% Desc	Total
0001	FUENTE DE PODER SIEMENS 2.5A 100-230V A 24VDC	1.00	107,500.00	0.00	107,500.00
SBS2101155	CAJA PLEX SBS 190X145X80	3.00	5,211.47	0.00	15,634.44

Cotización sobre válvula neumática



**Cotización No.: 19482**

Vigente hasta: 16-06-2023

**Empresa:** INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS

**Identificación:** 4000042138

**Fecha:** 16-05-2023 09:13 AM

**Solicitud No:**

**Cuenta:** 1619

**Contacto:** Jeffry Benavides Arroyo

**Teléfono:** +506 88724363 /

**Correo:** jbenavides@aya.go.cr

Nueva dirección para enviar órdenes de compra [dis-ordenesdecompra@tecnosagot.com](mailto:dis-ordenesdecompra@tecnosagot.com)

En atención a su solicitud, es un gusto presentarle la siguiente oferta:

Lín	Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Neto
1	<b>20732 - VB FLOWTEK S-85 SS 1" 1000WOG</b> CAByS: 4324002990000 Válvula de esfera marca Flow-Tek, modelo S-85 Cuerpo de dos piezas Acero Inoxidable cuerpo 1000 WOG 1"	1.00	Unid	56,352.00	56,352.00
2	<b>20811 - KIT MONTAJE EZ-009D-3</b> CAByS: 4325499990000	1.00	Unid	30,109.00	30,109.00
3	<b>21853 - ACTUAD NEUM S92/83 19MM DD</b> CAByS: 4321902000000 Actuador neumático marca Bray, modelo S92, tamaño 83, doble efecto, cuerpo en aluminio, presión de máxima de trabajo de 150PSI, cumple con norma ISO 5211	1.00	Unid	96,598.00	96,598.00
4	<b>21225 - V SOL S63,DIN IP65 120/60</b> CAByS: 4324001029900 Válvula solenoide para uso en actuador neumático, 3 vías 2 posiciones o 5 vías 2 posiciones, con bobina para 120Voltios y 60 Hertz, puertos de 1/4"NPT, diseñada bajo la Norma IP65 para uso a la interperie, marca Bray	1.00	Unid	82,325.00	82,325.00
5	<b>22870 - SILENCIADOR 1/4"NPT BRONCE P2MN</b> CAByS: 4151602020000	2.00	Unid	2,669.00	5,338.00
6	<b>22829 - RACOR RECTO 1/4"NPT x 6MM NWB103-006-001</b> CAByS: 4151602020000	1.00	Unid	1,677.00	1,677.00
Subtotal					272,399.00
Descuento					0.00
IVA					35,411.87
<b>Total (Costa Rica, Colón)</b>					<b>307,810.87</b>

Carta de solicitud para uso de información de las matrices de prueba del Laboratorio de Flujo.



**INSTITUTO COSTARRICENSE DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS**  
San José, Costa Rica  
Apartado 1097-1200. Teléfono 2242-5000 - jbenavides@aya.go.cr

**MEMORANDO**  
No.UEN-ID-2023-00516

**FECHA:** 6 de noviembre del 2023

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

**DE:** Jeffry Benavides Arroyo  
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 las matrices de prueba donde se repetían las mismas por diversas razones, eliminando la columna de NIS para proteger la confiabilidad de la información. Con esta información puedo evidenciar la disminución de la repetición de pruebas utilizando equipos electromecánicos automatizados.

Firmado digitalmente por  
JEFFRY ALEJANDRO BENAVIDES ARROYO (FIRMA)  
Fecha y hora: 06/11/2023 11:19 AM

Autorización del director del Laboratorio de Flujo para el uso de la información en este proyecto.



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

**MEMORANDO**  
**N.º UEN-ID-2023-00535**

**FECHA: 08 de noviembre de 2023**

**PARA: Jeffry Benavides Arroyo**  
**UEN Investigación y Desarrollo**

**DE:** Firmado digitalmente por  
JORGE GUILLERMO MERIZALDE DOBLES (FIRMA)  
Fecha y hora: 08/11/2023 03:48 PM  
**UEN Investigación y Desarrollo**

**ASUNTO: R/UEN-ID-2023-00516 - Autorización uso información institucional para tesis**

---

En respuesta a su oficio UEN-ID-2023-00516, por este medio autorizo a Ud. el uso de la información contenida en las matrices de prueba del Laboratorio de Flujo de Agua (LFA), con el fin de extraer los registros repetidos.

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.

C. Alejandro Gamboa Vazquez - UEN Investigación y Desarrollo  
Archivo

## REFERENCIAS

- [1] VALERA NEGRETE Y JOSÉ PEDRO AGUSTÍN, Apuntes de Física General, 1 ed. 2005 Universidad Nacional Autónoma de México, p.232-235.
- [2] MAGNETROL, aplicación de gas y fluido [página de internet]. En:  
<http://mx.magnetrol.com/applications.aspx?application=223&button=32> [consultada 2012-07-08]
- [3] NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS NTC1063-1. Especificaciones, tercera actualización editada 2007-07-03
- [4] MIKEL IZQUIERDO, Biomecánica y Bases Neuromusculares de la Actividad Física y el Deporte, 2008 Editorial Médica Panamericana, 311p.
- [5] HUGO RAMOS Y PABLO ESTRELLA, física 2, 2009 Editorial Cengage Learning, pp. 210, 212.
- [6] CAUDAL, Sensores de Caudal [página de internet]. En: <http://www.dte.uvigo.es/recursos/caudal/index.html> [consultada 2012-07-08]
- [7] ENDRESS + HAUSER, [página de internet]. En: <http://www.youtube.com/user/EndressHauserAG?feature=watch>.  
[Consultada 2012 -07-08]
- [8] ENDRESS + HAUSER, Sensor Electromagnetic Flow Measuring System, Technical Information, Proline Promag 50W-53W. Julio Del 2012.
- [9] MAVAINSA INSTRUMENTACIÓN [documento electrónico]. En:  
[http://www.mavainsa.com/documentos/10\\_instrumentacion.pdf](http://www.mavainsa.com/documentos/10_instrumentacion.pdf) . Consultada [2012 -07-09], p. 2-5.
- [12] INTECO. (2017). *INTE/ISO 12242: Medición de flujo de fluidos en conductos cerrados. Medidores ultrasónicos de tiempo de tránsito para líquidos*. INTECO.

S. E. Kulkarni, "Pneumatic Systems: Principles and Maintenance," CRC Press, 2017.

Este libro aborda los fundamentos de los sistemas neumáticos, incluyendo los actuadores neumáticos. Proporciona una comprensión detallada de los componentes, diseño de sistemas y técnicas de mantenimiento.

<https://www.bray.com/es/valves-actuators-controls/actuators/pneumatic-actuator/series-92-93-pneumatic-actuator>

Información acerca del actuador series 92/93 BRAY

<https://www.corteidh.or.cr/tablas/r32005.pdf>

Beneficios de la automatización de equipos en la precisión de pruebas de laboratorio.

<http://m.automatica.mex.tl/imagesnew/5/0/1/4/2/Presentaci%C3%B3n%20P.L.C..pdf#:~:text=Un%20aut%C3%B3mata%20programable%20es%20un%20sistema%20electr%C3%B3nico%20programable,y%20an%C3%A1logas%20diversos%20tipos%20de%20m%C3%A1quinas%20o%20procesos>

información sobre PLC