

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CONTROL PARA FACILITAR  
EL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO DE UN BANCO DE MEDIDORES DE  
VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA CORPORACIÓN CENTRO DE  
DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS**

**DIANA LIZETH GONZÁLEZ BUSTOS  
ID: 155848**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN E INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2015**

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CONTROL PARA FACILITAR  
EL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO EN UN BANCO DE MEDIDORES DE  
VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA CORPORACIÓN CENTRO DE  
DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS**

**DIANA LIZETH GONZÁLEZ BUSTOS  
ID: 155848**

**INFORME FINAL DE PRÁCTICA EMPRESARIAL**

**Trabajo de grado para obtener el título de:  
INGENIERA ELECTRÓNICA**

**SUPERVISOR DE PRÁCTICA  
JOSÉ AUGUSTO FUENTES OSORIO  
INGENIERO MECÁNICO**



**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN E INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
BUCARAMANGA  
2015**

**Nota de Aceptación:**

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

## DEDICATORIA

*Hoy culmina una gran etapa en mi vida, que me convierte en una profesional íntegra y llena de valores que con los esfuerzos de mi madre y mi padre me alentaron y apoyaron a lograr esta hermosa realidad.*

*Dedico este triunfo a Dios por guiarme y acompañarme en cada etapa de mi vida y darme la fortaleza necesaria para superar cada reto que me impone la vida.*

*Dedico este trabajo a mi hija, esposo, padres y hermana quienes hicieron posible la culminación de este proyecto en mi vida, gracias a su amor y apoyo incondicional.*

*Diana Lizeth González Bustos.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al término de esta etapa de mi vida, quiero expresar un profundo agradecimiento a mi madre Nubia Bustos, a mi padre Ricardo González y a mi hermana Jennifer González, quienes con su apoyo y cariño he logrado culminar mi esfuerzo, terminando así mi carrera profesional, como una persona íntegra e idónea siendo para mí esta la mejor herencia.

A mi hija Sara Sofía, que llego a mi vida para impulsarme y ser un motivo más para seguir luchando por mis sueños y metas.

A mi esposo Álvaro Andrés, por el cariño y apoyo moral que siempre he recibido de ti y con el cual he logrado ser una profesional, que es para mí la mejor prueba de cariño y agradecimiento.

A todas las personas que con sus consejos fortalecieron en mí las ganas de triunfar y de salir adelante con mi esfuerzo y dedicación.

A la Corporación CDT de GAS, quienes permitieron desarrollar mi práctica empresarial, creyendo en mis aptitudes para realizar y aplicar todos los conocimientos adquiridos.

## Tabla de contenido

	<i>Pág.</i>
GLOSARIO.....	15
INTRODUCCIÓN.....	19
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA .....	21
1.1 RESEÑA HISTÓRICA .....	21
1.2 MISIÓN.....	22
1.3 VISIÓN .....	22
1.4 SITUACIÓN ACTUAL.....	22
1.4.1 Actividad económica .....	22
1.4.2 Descripción del área de trabajo.....	23
1.4.3 Personal .....	23
1.4.4 Estructura organizacional .....	24
2. OBJETIVOS.....	25
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	25
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	25
3. PLAN DE TRABAJO PROPUESTO .....	26
4. MARCO CONCEPTUAL .....	28
4.1 BANCO GRAVIMÉTRICO DE LÍQUIDOS.....	28
4.2 CALIBRACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO .....	28
4.2.1 Método de pesaje estático: .....	29
4.2.2 Método de pesaje dinámico: .....	29
4.3 DECLARACIÓN DEL PRINCIPIO FÍSICO .....	30
4.4 COMPONENTES PARA EL MÉTODO DE PESAJE ESTÁTICO .....	30
4.4.1 Diverter .....	30
4.4.2 Medición del tiempo .....	31
4.4.3 Tanque de pesaje .....	32

4.4.4	Dispositivos auxiliares .....	32
4.5	CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO SIEMENS .....	33
4.5.1	Principio de funcionamiento .....	33
4.6	OPTO 22 SNAP PAC [6] .....	34
4.6.1	PAC Display .....	35
4.6.2	PAC Control .....	35
4.6.3	Chart [1] .....	36
4.7	CONTROLADOR PID .....	37
4.7.1	Acción de control proporcional (P): .....	37
4.7.2	Acción de control integral (I): .....	38
4.7.3	Acción de control derivativa (D): .....	38
4.7.4	Acción de control Proporcional, Integral y Derivativo (PID): .....	38
4.8	SINTONIZACIÓN DE UN PID .....	39
4.8.1	Primer Método de Ziegler Nichols .....	39
4.9	CONTROL POR AJUSTES DE TABLAS .....	41
5	ACTIVIDADES DESARROLLADAS .....	43
5.1	APROPIACIÓN DE CONOCIMIENTO MEDIANTE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PROGRAMA DE FORMACIÓN INTERNA .....	43
5.1.1	Formación en metrología básica .....	43
5.1.2	Formación en conceptos de la medición de caudal de fluidos .....	43
5.1.3	Formación en metrología aplicada a la medición de fluidos .....	43
5.1.4	Capacitación en el área de manometría y termometría .....	44
5.1.5	Formación en aseguramiento metrológico .....	44
5.2	DEFINIR LOS ELEMENTOS SUSCEPTIBLES Y QUE POR ENDE NECESITEN ASEGURAMIENTO METROLÓGICO .....	44
5.2.1	Modelo matemático para la determinación de la masa de agua corregida colectada en el sistema: .....	44
5.2.2	Modelo matemático para la determinación del volumen del medidor bajo prueba: .....	46
5.3	DEFINIR EL PROCEDIMIENTO DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO .....	47
5.3.1	Presión .....	47
5.3.2	Temperatura .....	47
5.3.3	Diverter .....	48

5.3.4 Tiempo .....	49
5.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL E INTERFAZ HOMBRE- MÁQUINA (HMI) .....	50
5.4.1 Magnitud de Temperatura y Presión.....	50
5.4.2 Diverter .....	53
5.4.2.1 Identificación de escenarios.....	55
5.4.2.2 Sintonización del PID .....	56
5.4.2.2.1 Aplicación primer método de Ziegler Nichols: .....	57
5.4.2.2.2 Ajuste por tablas .....	61
5.5 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR .....	61
5.5.1 Bucle de control de caudal .....	62
5.5.2 Resultados del ajuste de caudal.....	64
5.5.3 Tiempo .....	67
5.6 CHART ESTRATEGIA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO .....	68
5.6.1 Inicio .....	68
5.6.2 Powerup .....	69
5.6.3 Variables_secundarias .....	70
5.6.4 Ajuste_de_caudal.....	72
5.7 EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA MAGNITUD DE PRESIÓN.....	73
5.7.1 Método de calibración .....	74
5.7.2 Elementos para la generación de presión.....	74
5.7.3 Seleccionar el patrón adecuado para la calibración.....	75
5.7.4 Definir los puntos de calibración .....	75
5.7.5 Secuencia de calibración.....	76
5.7.6 Calibración .....	76
5.7.7 Resultados PL-210.....	77
5.7.8 Resultados PL-211 .....	78
5.7.9 Ajuste de los transmisores de presión del banco de Volumen y caudal de líquidos .....	80
5.8 EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA MAGNITUD DE TEMPERATURA .....	86
5.8.1 Método de calibración.....	86

5.8.2	Selección del Patrón .....	86
5.8.3	Selección del Medio de Generación de Temperatura .....	87
5.8.4	Montaje e Instalación .....	88
5.8.5	Puntos de Calibración .....	89
5.8.6	Secuencia de Calibración.....	89
5.8.7	Puesta en marcha.....	90
5.8.8	Resultados .....	90
5.9	EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA TIEMPO .....	91
5.10	EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA EL DIVERTER .....	94
5.10.1	Prueba de funcionamiento para la determinación de la $C_{diverter}$ .....	94
6.	IMPLEMENTACIÓN DEL PANEL MUT .....	109
6.1	DISEÑO PANEL MUT .....	110
6.1.1	Totalización del volumen del MUT por salida de pulsos .....	110
6.1.1.1	Salida activa de pulsos.....	110
6.1.1.2	Salida pasiva de pulsos.....	110
6.1.2	Simulaciones del diseño a implementar .....	111
6.2	IMPLEMENTACIÓN DEL PANEL MUT .....	116
6.2.1	CONEXIONES ELÉCTRICAS .....	116
6.2.2	Salida activa de pulsos.....	119
6.2.3	Salida Pasiva de Pulsos .....	121
7.	APORTES AL CONOCIMIENTO .....	123
8.	CONCLUSIONES .....	124
	BIBLIOGRAFÍA.....	125
	ANEXOS.....	127

## LISTADO DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Objetivos y Actividades Desarrolladas .....	26
<b>Tabla 2.</b> Regla de sintonización de Ziegler- Nichols basada en la respuesta escalón de la planta.....	41
<b>Tabla 3.</b> Identificación de escenarios de calibración.....	56
<b>Tabla 4.</b> Constantes obtenidas .....	58
<b>Tabla 5.</b> Constantes sintonizadas .....	58
<b>Tabla 6.</b> Constantes Obtenidas .....	60
<b>Tabla 7.</b> Constantes sintonizadas después de pruebas.....	60
<b>Tabla 8.</b> Constantes obtenidas .....	60
<b>Tabla 9.</b> Sintonización de PID a prueba y error .....	60
<b>Tabla 10.</b> Resumen Constantes .....	61
<b>Tabla 11.</b> Puntos de Calibración.....	76
<b>Tabla 12.</b> Secuencia de Calibración .....	76
<b>Tabla 13.</b> Prueba Estándar 1.....	99
<b>Tabla 14.</b> Prueba Estándar 2.....	99
<b>Tabla 15.</b> Prueba Ráfagas.....	99
<b>Tabla 16.</b> Proceso .....	100
<b>Tabla 17.</b> Caracterización 1 Tanque 1 .....	101
<b>Tabla 18.</b> Caracterización 2 Tanque 1 .....	101
<b>Tabla 19.</b> Caracterización 3 Tanque 1 .....	102
<b>Tabla 20.</b> Caracterización 1 Tanque 2.....	104
<b>Tabla 21.</b> Caracterización 2 Tanque 2.....	104
<b>Tabla 22.</b> Caracterización 3 Tanque 2.....	105

<b>Tabla 23.</b> Caracterización 1 Tanque 3.....	105
<b>Tabla 24.</b> Caracterización 2 Tanque 3.....	107
<b>Tabla 25.</b> Caracterización 3 Tanque 3.....	107
<b>Tabla 26.</b> Descripción de las borneras de conexión .....	117

## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Organigrama general Corporación CDT de GAS .....	24
<b>Figura 2.</b> Esquema Banco Gravimétrico de Líquidos Corporación CDT de GAS.....	28
<b>Figura 3.</b> Fotografía Banco Gravimétrico de Líquidos Corporación CDT de GAS.....	29
<b>Figura 4.</b> Diverter .....	31
<b>Figura 5.</b> Operación del diverter en el tiempo.....	31
<b>Figura 6.</b> RTD del Banco Gravimétrico de Líquidos .....	32
<b>Figura 7.</b> Transmisor de Presión del Banco Gravimétrico de Líquidos .....	33
<b>Figura 8.</b> Caudalímetro Electromagnético SIMENS.....	34
<b>Figura 9.</b> Rack, Brain y Snap de Opto22.....	34
<b>Figura 10.</b> PAC Display de Opto 22 .....	35
<b>Figura 11.</b> PAC Control de Opto 22.....	36
<b>Figura 12.</b> Bloque de Opto Control.....	37
<b>Figura 13.</b> Diagrama de bloques de un controlador PID.....	39
<b>Figura 14.</b> Método uno de Ziegler-Nichols.....	40
<b>Figura 15.</b> Gráfica de la respuesta del sistema ante una señal tipo escalón. ....	40
<b>Figura 16.</b> Control con parámetros ajustables.....	42
<b>Figura 17.</b> Multicalibrador ISOCAL MCS-12.....	50
<b>Figura 18.</b> HIM de Aseguramiento Metrológico .....	50
<b>Figura 19.</b> Notificación de descarga de la contantes m y b .....	51
<b>Figura 20.</b> Selección del elemento a calibrar o verificar .....	51
<b>Figura 21.</b> HIM de Aseguramiento Metrológico para la magnitud de Temperatura .....	52
<b>Figura 22.</b> HIM de Aseguramiento Metrológico para la magnitud de Presión .....	53
<b>Figura 23.</b> HIM de Aseguramiento Metrológico para el Diverter .....	53

<b>Figura 24.</b> HIM Ajuste de caudal .....	54
<b>Figura 25.</b> PID View de Opto 22.....	56
<b>Figura 26.</b> Diagrama Tiempo vs Frecuencia de la señal tipo escalón para escenario 1 ..	57
<b>Figura 27.</b> Diagrama Tiempo vs caudal de la señal tipo escalón para escenario 1.....	58
<b>Figura 28.</b> Diagrama Tiempo vs Frecuencia de la señal tipo escalón para escenario 2...	59
<b>Figura 29.</b> Diagrama Tiempo vs caudal de la señal tipo escalón para escenario 2.....	59
<b>Figura 30.</b> Diagrama de flujo del bucle de ajuste de caudal .....	63
<b>Figura 31.</b> Escenario 1 bomba en ascenso .....	64
<b>Figura 32.</b> Escenario 1 bomba en descenso .....	65
<b>Figura 33.</b> Escenario 2 bomba en ascenso .....	65
<b>Figura 34.</b> Escenario 2 bomba en descenso .....	66
<b>Figura 35.</b> Escenario 3 bomba en ascenso .....	66
<b>Figura 36.</b> Escenario 3 bomba en descenso .....	67
<b>Figura 37.</b> HMI Prueba de Tiempo .....	68
<b>Figura 38.</b> Diagrama de flujo del chart Inicio .....	69
<b>Figura 39.</b> Código bloque “Elemento a verificar” .....	69
<b>Figura 40.</b> Diagrama de flujo del chart Powerup .....	70
<b>Figura 41.</b> Diagrama de flujo del chart Variables_secundarias.....	71
<b>Figura 42.</b> OptoScript del diagrama de flujo “llevar variables de entrada a Variables” .....	71
<b>Figura 43.</b> Corrección de lecturas .....	72
<b>Figura 44.</b> Tabla Corrección m_b.....	73
<b>Figura 45.</b> Transmisor de Presión .....	73
<b>Figura 46.</b> Bomba de Presión Neumática.....	74
<b>Figura 47.</b> Patrón PL-167.....	75
<b>Figura 48.</b> Montaje de Calibración .....	77
<b>Figura 49.</b> Resultados PL-210.....	77
<b>Figura 50.</b> Resultados PL-211.....	78

<b>Figura 51.</b> Transmisores de Presión .....	80
<b>Figura 52.</b> Regresión lineal PL-210.....	80
<b>Figura 53.</b> Constantes m y b .....	81
<b>Figura 54.</b> Regresión lineal PL-211 .....	82
<b>Figura 55.</b> Constantes m y b .....	83
<b>Figura 56.</b> Resultados PL-210.....	84
<b>Figura 57.</b> Resultados PL-211.....	85
<b>Figura 58.</b> Actualizar constantes .....	85
<b>Figura 59.</b> RTD patrón TL-097 .....	87
<b>Figura 60.</b> Medio de Generación (Bloque seco) .....	87
<b>Figura 61.</b> Montaje calibración para RTD TL-156.....	88
<b>Figura 62.</b> Resultados de Calibración RTD TL-156 .....	90
<b>Figura 63.</b> Generar una frecuencia de 1Hz con un nivel de tensión de 5V con el EL-030. .....	91
<b>Figura 64.</b> HMI Prueba Tiempo .....	92
<b>Figura 65.</b> Conexión al panel MUT.....	93
<b>Figura 66.</b> Inicio Prueba de Tiempo .....	93
<b>Figura 67.</b> Finalización Prueba tiempo .....	94
<b>Figura 68.</b> HMI Diverter.....	95
<b>Figura 69.</b> Ajuste de caudal (Ajuste Manual).....	95
<b>Figura 70.</b> Constante de la válvula desviadora.....	96
<b>Figura 71.</b> Prueba estándar 1.....	97
<b>Figura 72.</b> Estabilización de la indicación de la balanza.....	97
<b>Figura 73.</b> Prueba de Ráfagas .....	97
<b>Figura 74.</b> Histórico caudal de 900.....	98
<b>Figura 75.</b> Comparación caracterizaciones Factor de corrección válvula desviadora ....	103
<b>Figura 76.</b> Comparación caracterizaciones Factor de corrección válvula desviadora Tanque 2 .....	106

<b>Figura 77.</b> Comparación caracterizaciones Factor de corrección válvula desviadora Tanque 3 .....	108
<b>Figura 78.</b> Constante Cdiverter .....	109
<b>Figura 79.</b> Conexión medidor a Opto 22 .....	109
<b>Figura 80.</b> Conexión Pasiva .....	111
<b>Figura 81.</b> Simulación señal activa sin optoacoplador .....	111
<b>Figura 82.</b> Salida del Osciloscopio de la figura 81.....	112
<b>Figura 83.</b> Simulación señal activa con optoacoplador.....	113
<b>Figura 84.</b> Simulación señal pasiva con voltaje de alimentación de 5V .....	114
<b>Figura 85.</b> Salida del Osciloscopio de la figura 84.....	114
<b>Figura 86.</b> Simulación señal pasiva con voltaje de alimentación de 12V .....	115
<b>Figura 87.</b> Terminales Eléctricos.....	116
<b>Figura 88.</b> Cableado Panel MUT .....	118
<b>Figura 89.</b> Conexión de Condiciones Iniciales.....	119
<b>Figura 90.</b> Conexión "Señal Activa" con niveles de tensión aceptables.....	119
<b>Figura 91.</b> Conexión "Señal Activa" con Optoacoplador.....	120
<b>Figura 92.</b> Conexión "Señal Pasiva" con 5V.....	121
<b>Figura 93.</b> Conexión "Señal Pasiva" con 12V.....	122
<b>Figura 94.</b> Banco Gravimétrico de Líquidos etapa final .....	122

## GLOSARIO<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> JCGM. VIM 3ra Edición Traducida al Español. [En Línea].  
 <<http://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>> Accedido [30-Mayo-14].

- **CALIBRACIÓN (VIM 2.39):** Operación que bajo condiciones especificadas establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas y, en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación.
- **CONDICIÓN DE REPETIBILIDAD DE UNA MEDICIÓN (VIM 2.20):** condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye el mismo procedimiento de medida, los mismos operadores, el mismo sistema de medida, las mismas condiciones de operación y el mismo lugar, así como mediciones repetidas del mismo objeto o de un objeto similar en un periodo corto de tiempo.
- **CONDICIÓN DE REPRODUCIBILIDAD DE UNA MEDICIÓN (VIM 2.24):** condición de medición, dentro de un conjunto de condiciones que incluye diferentes lugares, operadores, sistemas de medida y mediciones repetidas de los mismos objetos u objetos similares.
- **ERROR DE MEDIDA (VIM 2.16):** Diferencia entre un valor medido de una magnitud y un valor de referencia.
- **EXACTITUD DE MEDIDA (VIM 2.13):** Proximidad entre un valor medido y un valor verdadero de un mensurando.
- **INCERTIDUMBRE DE MEDIDA (VIM 2.26):** Parámetro no negativo que caracteriza la dispersión de los valores atribuidos a un mensurando, a partir de la información que se utiliza.
- **MAGNITUD (VIM 1.3):** Propiedad de un fenómeno, cuerpo o sustancia, que puede expresarse cuantitativamente mediante un número y una referencia.
- **MEDICIÓN (VIM 2.1):** Proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden atribuirse razonablemente a una magnitud.

- **MENSURANDO (VIM 2.3):** Magnitud que se desea medir.
- **MÉTODO DE MEDIDA (VIM 2.5):** Descripción genérica de la secuencia lógica de operaciones utilizadas en una medición.
- **METROLOGÍA (VIM 2.2):** Ciencia de la medición y sus aplicaciones. *Nota:* La metrología incluye aspectos teóricos y prácticos relacionados con las mediciones, cualquiera que sea su incertidumbre y cualquiera que sea el campo de la ciencia o de la tecnología al cual se aplique.
- **PATRÓN DE MEDIDA (VIM 5.1):** Realización de la definición de una magnitud dada, con un valor determinado y una incertidumbre de medida asociada, tomada como referencia.
- **PATRÓN PRIMARIO DE MEDIDA (VIM 5.4):** Patrón establecido mediante un procedimiento de medida primario o creado como un objeto, elegido por convenio.
- **TRAZABILIDAD METROLÓGICA (VIM 2.41):** Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida.

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA DE CONTROL PARA FACILITAR EL ASEGURAMIENTO METROLÓGICO DE UN BANCO DE MEDIDORES DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL GAS

**AUTOR(ES):** DIANA LIZETH GONZÁLEZ BUSTOS

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** CARLOS GERARDO HERNÁNDEZ CAPACHO

### RESUMEN

Actualmente la Corporación CDT de GAS se encuentra consolidando una infraestructura para la industria de hidrocarburos líquidos, el cual requiere de un sistema de Aseguramiento Metrológico, con el fin de proporcionar confianza, en que se cumplirán los requisitos, actuando de manera preventiva y reduciendo al máximo que se genere una medición inadecuada en el proceso, por ende se implementó una herramienta de control a través de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) soportado en un plataforma de automatización (Opto 22), para facilitar el aseguramiento metrológico, teniendo como objeto apoyar en la consolidación de esta infraestructura y evitar manipulación directa en la programación de la automatización. Por último y como complemento, se diseña e implementa el panel MUT el cual permite conexión del medidor bajo prueba a la plataforma de automatización de manera sencilla, ágil y eficaz.

### PALABRAS CLAVES:

Aseguramiento Metrológico, Metrología, ISO 4185, Diverter, Calibración por método gravimétrico.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE**

**TITLE:** IMPLEMENTATION OF A CONTROL TOOL TO FACILITATE THE METROLOGICAL ASSURANCE OF A BENCH OF VOLUME AND LIQUID FLOW METERS FOR THE CORPORATION TECHNOLOGY DEVELOPMENT CENTER OF GAS

**AUTHOR(S):** DIANA LIZETH GONZÁLEZ BUSTOS

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** CARLOS GERARDO HERNÁNDEZ CAPACHO

### **ABSTRACT**

Currently the Corporation CDT GAS is consolidating an infrastructure for liquid hydrocarbons industry, this infrastructure requires a Metrological Assurance System, which allows to provide confidence in compliance with requirements, take preventive action and avoid generates a measurement inadequate in the process; With the objective of supporting the consolidation of this infrastructure and avoid direct manipulation on programming the automation, a control tool through a Human Machine Interface (HMI), supported on a automation platform (Opto 22) was implemented, to facilitate the metrological assurance of the process. Finally and in addition, was designed and implemented a MUT panel that allows the connection of the meter under test to the automation platform in a simple, fast and effective way.

### **KEYWORDS:**

Metrological Assurance, Metrology, ISO 4185, Diverter, Calibration by gravimetric method.

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCIÓN

Para empezar es importante mencionar que la Corporación CDT de GAS se encuentra consolidando una infraestructura para la industria de hidrocarburos líquidos, contando con un banco primario para calibración de medidores tipo másico o volumétrico con alcance de 5 kg/min (L/min) a 900 kg/min (L/min).

Para la corporación CDT de GAS es de vital importancia la confianza en las mediciones realizadas en el banco de volumen y caudal de líquidos. Debido a los diferentes parámetros que se manipulan en dicho banco, para ello se implementó una herramienta de control a través de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) para facilitar el aseguramiento metrológico, teniendo como objeto apoyar en la consolidación de esta infraestructura y evitar manipulación directa en la programación de la automatización.

La ejecución del proyecto se sustenta en cada uno de los siguientes pasos: Implementación de la estrategia de control e interfaz Hombre-Máquina (HMI), definición del procedimiento de aseguramiento metrológico y ejecución de pruebas de operación para evaluar la robustez del sistema. En el desarrollo de este proyecto se determinaron cuatro parámetros claves que conforman el banco gravimétrico de líquidos, los cuales son: Presión, Temperatura, Diverter y Tiempo, dichos parámetros necesitan proporcionar confianza, en que se cumplirán los requisitos, actuando de manera preventiva, con el fin de reducir al máximo que se genere una medición inadecuada en el proceso, por ende requieren de un aseguramiento metrológico, el cual tiene como finalidad obtener datos libres de errores significativos de los procesos de medición, para el uso que se pretende de ellos y que, por tanto, sean una base adecuada para el mejoramiento.

Este documento evidencia la importancia y la necesidad de asegurar en una empresa, un nivel de calidad adecuado de las mediciones, ya que es una manera de eliminar la posibilidad de tomar decisiones erróneas, estableciendo acciones preventivas para asegurar que los datos utilizados en el proceso industrial sean una base adecuada para las decisiones que afectan a la calidad del proceso de medición.

## 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA<sup>2</sup>

<b><u>Nombre:</u></b>	CORPORACIÓN CDT DE GAS
<b><u>Domicilio:</u></b>	Km 2 Vía Refugio Sede UIS Guatiguará- Piedecuesta
<b><u>Teléfono:</u></b>	6543800 / 6542266

### 1.1 RESEÑA HISTÓRICA

La visión de cinco asociados tecnológicos (ICP de ECOPETROL, ICONTEC, UIS, SENA y CORASFALTOS) dio vida a la Corporación CDT de GAS en el año de 1999, como una entidad de derecho privado y participación mixta, legalmente constituida, con carácter Científico y Tecnológico. Desde sus inicios la ubicación del laboratorio ha sido en el Centro de Investigaciones de la Universidad Industrial de Santander, Sede UIS- Guatiguará.

En el año 2000 el CDT de GAS firmó un convenio de Cooperación con el IPT de Brasil, el cual se ha mantenido activo mediante la realización de actividades de carácter científico y tecnológico, entre las que se resaltan: la intercomparación metrológica del patrón primario tipo campana gasométrica usando boquillas sónicas como elemento patrón de transferencia, la realización de tres proyectos de desarrollo tecnológico en procura del fortalecimiento de la estructura metrológica colombiana en materia de flujo de gases, la realización de la Primera, Tercera y Quinta Jornada Técnica Internacional en Medición de Flujo de Gas (2002, 2004 y 2008).

Desde el año 2002 se ha contado con el apoyo de Colciencias para el desarrollo de once (11) proyectos tecnológicos, mediante los cuales se ha conseguido consolidar la infraestructura metrológica del sector del gas en Colombia, así mismo se han realizado cinco (5) jornadas técnicas de carácter internacional, con el fin de promover la cultura metrológica en el país.

Desde el año 2003 hasta la fecha el CDT de GAS ha servido de centro de aprendizaje para los estudiantes de la región, permitiendo la vinculación como practicantes de más de 50 alumnos de universidades como la UIS, UTS Y UPB, contribuyendo así a la formación integral de profesionales calificados.

---

<sup>2</sup> CORPORACIÓN CDT DE GAS. Tomado del Manual de calidad capítulo 1.

## **1.2 MISIÓN**

“Apropiamos los beneficios de la ciencia de las mediciones (metrología) y los aplicamos para el incremento de la productividad y competitividad del sector gas, y de otros sectores productivos, y para la preservación del medio ambiente, mediante la gestión y ejecución de proyectos de Investigación, Innovación y Desarrollo Tecnológico, la formación de talento humano, la transferencia de conocimiento y la oferta de servicios especializados haciendo uso eficiente de la infraestructura de laboratorios estratégicamente desarrollados por nuestros propios profesionales con el apoyo internacional”.

## **1.3 VISIÓN**

“Seremos el centro de desarrollo tecnológico e investigación, líder a nivel nacional en la generación de soluciones innovadoras y sostenibles para las áreas de fluidos, energía y medio ambiente, y seremos reconocidos en el entorno internacional, por nuestro aporte en la aplicación de la metrología para la mejora de los procesos productivos”.

## **1.4 SITUACIÓN ACTUAL**

### **1.4.1 Actividad económica**

La Corporación CDT de GAS presta a sus clientes los siguientes servicios:

- Verificación de la calidad de equipos y accesorios: cilindros, válvulas, reguladores de presión, equipos de cocción, calentadores, evacuación de gases y mangueras.
- Servicio de Calibración de medidores de gas: rotámetros, medidores máscicos, boquillas, medidores de desplazamiento positivo, etc.
- Calibración de elementos para medición de presión, temperatura, magnitudes eléctricas
- Calibración de masas y balanzas
- Desarrollo de proyectos de Investigación y transferencia de tecnología. (Como resultado de estos procesos, se diseñan, fabrican y suministran a los clientes equipos e instrumentos)
- Apoyo a las actividades nacionales de normalización.
- Formación de personal
- Servicios de Ingeniería para la industria del gas.
- Inspección de sistemas de medición (a través del Organismo de Inspección).

El laboratorio de la corporación CDT de GAS realiza calibraciones y ensayos en diferentes áreas como Manometría, Termometría, Cromatografía y calidad de gas,

Magnitudes eléctricas, Volumen y caudal de gases, las cuales se ejecutan bajo la norma ISO/IEC 17025:2005, dentro de la cual el aseguramiento metrológico es requisito.

#### **1.4.2 Descripción del área de trabajo**

En el Centro de metrología de fluidos de la Corporación CDT de GAS durante más de 12 años, ha desarrollado absoluta credibilidad y competencia para evaluar el desempeño metrológico de diferentes equipos y sistemas de medición utilizados en la industria del gas, contribuyendo a la confiabilidad y calidad en los procesos, productos y servicios.

Actualmente el CDT de GAS se encuentra consolidando una infraestructura para la industria de hidrocarburos líquidos. Dentro de este proceso se encuentra el banco primario para calibración de medidores tipo másico o volumétrico.

#### **1.4.3 Personal**

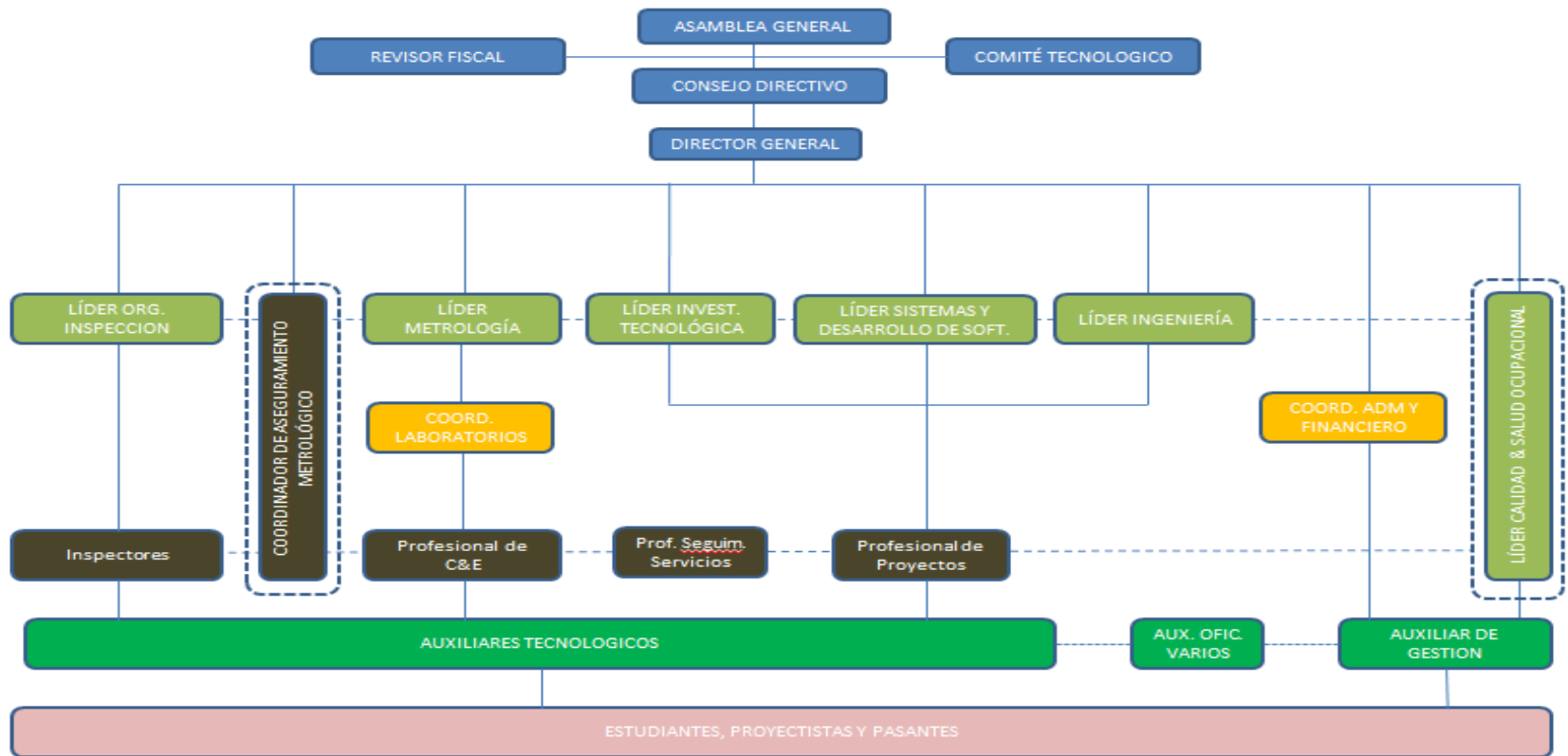
Con el fin de garantizar la independencia de criterios técnicos y presiones indebidas sobre los funcionarios, el CDT de GAS obtiene sus recursos a través de la prestación de servicios y la participación directa en las convocatorias tecnológicas auspiciadas por COLCIENCIAS y el SENA. De estos ingresos se aplican recursos para la capacitación del personal a nivel nacional e internacional, adquisición de equipos e instrumentos y desarrollo de la infraestructura metrológica nacional en materia de fluidos. Adicionalmente, todos los funcionarios son contratados mediante sistemas salariales fijos que en ningún caso dependen del número de servicios realizados o de los resultados obtenidos.

Para los casos en los cuales el CDT de GAS suministra a sus clientes equipos e instrumentos fabricados por sus funcionarios, el Director garantiza que el personal que fabrica los instrumentos no participa directamente en el proceso de calibración a fin de evitar potenciales conflictos de interés.

Toda persona que inicie actividad laboral en el centro firma una “Declaración de Confidencialidad e Integridad” PGF-044, en la cual se compromete a no divulgar, ni difundir, ni usar por ningún medio la información de clientes, trabajos desarrollados, y otros que puedan constituir materia de patente, secreto comercial, diseño industrial o derechos de autor.

### 1.4.4 Estructura organizacional

Figura 1. Organigrama general Corporación CDT de GAS



Fuente: Recopilado del Manual de calidad capítulo 1 Corporación CDT de GAS

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Implementar una herramienta que facilite el aseguramiento metrológico para el banco de medidores de volumen y caudal de líquidos, para la Corporación CDT de GAS con el fin de obtener confiabilidad y transparencia en los resultados emitidos.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Definir los parámetros y límites de control para generar la estrategia de aseguramiento metrológico en el banco de volumen y caudal de líquidos de la corporación CDT de GAS.
- Desarrollar e implementar la estrategia de control e interfaz hombre-máquina (HMI) del aseguramiento metrológico para el banco de volumen y caudal de líquidos.
- Evaluar la robustez y confiabilidad de la estrategia de aseguramiento metrológico implementada, mediante la ejecución de pruebas de operación del banco de volumen y caudal de líquidos.

### 3. PLAN DE TRABAJO PROPUESTO

**Tabla 1.** Objetivos y Actividades Desarrolladas

OBJETIVO	ACTIVIDAD
<p>Definir los parámetros y límites de control para generar la estrategia de aseguramiento metrológico en el banco de volumen y caudal de líquidos de la corporación CDT de GAS.</p>	<p>Apropiación de conocimiento mediante revisión bibliográfica y programa de formación interna en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Metrología básica.</li> <li>• Conceptos de la medición de caudal de fluidos.</li> <li>• Metrología aplicada a la medición de fluidos.</li> <li>• Aseguramiento Metrológico.</li> <li>• Incertidumbre.</li> </ul> <p>Definición de los elementos susceptibles que requieran aseguramiento metrológico.</p>
<p>Desarrollar e implementar la estrategia de control e interfaz hombre-máquina (HMI) del aseguramiento metrológico para el banco de volumen y caudal de líquidos.</p>	<p>Definir el procedimiento de Aseguramiento Metrológico para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperatura y Presión.</li> <li>• Diverter según la norma ISO 4185 anexo A.</li> <li>• Tiempo.</li> </ul> <p>Implementación de la estrategia de control e interfaz hombre- máquina (HMI).</p>

<p>Evaluar la robustez y confiabilidad de la estrategia de aseguramiento metrológico implementada, mediante la ejecución de pruebas de operación del banco de volumen y caudal de líquidos.</p>	<p>Las pruebas a realizar para la estrategia de aseguramiento metrológico de temperatura y presión son:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Calibración.</li><li>• Análisis de resultados y ajuste (Si lo requiere).</li></ul> <p>Para el Diverter:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Prueba de funcionamiento para la determinación de la <math>C_{diverter}</math>.</li><li>• Análisis de resultados.</li><li>• Determinación de la constante del diverter a través del modelo matemático establecido por la norma ISO 4185 anexo A.</li></ul>
---	--

**Fuente:** Elaboración propia

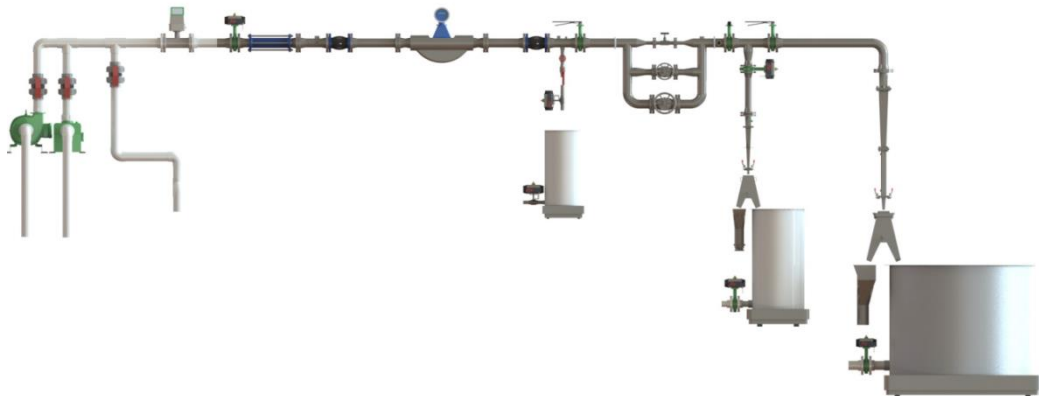
## 4. MARCO CONCEPTUAL

### 4.1 BANCO GRAVIMÉTRICO DE LÍQUIDOS<sup>3</sup>

Es un dispositivo patrón para la calibración de medidores de líquidos mediante el método de comparación directa.

Cuenta con 3 tanques de diferentes capacidades con sus respectivas básculas como se muestra en la Figura 2, los cuales se distribuyen para abarcar el intervalo de caudal de 5 kg/min a 900 kg/min y una incertidumbre de 0.1%. Además cuenta con la instrumentación secundaria necesaria y juego de accesorios para diferentes tamaño de Medidores bajo prueba (MUT)<sup>4</sup>. Para la adquisición de los datos necesarios para la calibración, el banco cuenta con un SCADA soportado en una plataforma de automatización (Opto 22).

**Figura 2.** Esquema Banco Gravimétrico de Líquidos Corporación CDT de GAS



**Fuente:** Base de datos Corporación CDT de GAS

### 4.2 CALIBRACIÓN POR MÉTODO GRAVIMÉTRICO<sup>5</sup>

<sup>3</sup> CORPORACIÓN CDT DE GAS. Tomado del procedimiento de operación PTO-012.

<sup>4</sup> Medidor Bajo Prueba será identificado como MUT por sus siglas en ingles Meter Under Test.

<sup>5</sup> Manual of Petroleum Measurement Standards. "Measurement of liquid hydrocarbons by Coriolis meters". Chapter 5 – Section 6. 2002.

Este método de calibración consiste en un sistema de pesaje (balanza, celdas de carga, etc.) utilizado para determinar la cantidad en masa de líquido (generalmente agua) que fluye a través del medidor. Según el principio de operación, el sistema de calibración gravimétrico se puede clasificar en dos, dependiendo del método de pesaje empleado:

#### 4.2.1 Método de pesaje estático:

El método consiste en determinar la cantidad de masa de líquido entregada durante un tiempo determinado. La masa neta se deduce de la diferencia de la masa al inicio de la prueba y de la masa después de realizar la colecta. Debido a que la entrega de líquido en el tanque no es constante, se usa de una válvula desviadora de flujo para garantizar la estabilidad de caudal.

#### 4.2.2 Método de pesaje dinámico:

Este método, al igual que el anterior, consiste en determinar la cantidad de masa de líquido entregada durante un tiempo determinado pero con la diferencia de que el pesaje se realiza con flujo de líquido contante en el tanque. La masa neta recolectada se deduce de la diferencia de masa entre dos instantes de tiempo previamente determinados. La desventaja de este método radica en los efectos dinámicos que pueden producirse durante el proceso de calibración, los cuales se incrementan si la resolución del instrumento de pesaje es alta.

En la Figura 3 se observa la construcción final del banco gravimétrico de Líquidos.

**Figura 3.** Fotografía Banco Gravimétrico de Líquidos Corporación CDT de GAS



**Fuente:** Corporación CDT de GAS

La Corporación CDT de GAS seleccionó el método de pesaje estático el cual se explicará a continuación.

### **4.3 DECLARACIÓN DEL PRINCIPIO FÍSICO**

El Banco Gravimétrico de Líquidos se basó en el método de pesaje estático según la norma ISO - 4185. El principio de la medición de caudal por el método del pesaje estático es:

- Determinar la masa inicial del tanque más cualquier residuo líquido.
- Desviar el fluido dentro del tanque por operación del diverter el cual acciona un contador de tiempo para medir el llenado del tanque.
- Determinar la masa final del tanque más el líquido colectado dentro de él.

### **4.4 COMPONENTES PARA EL MÉTODO DE PESAJE ESTÁTICO<sup>6</sup>**

A continuación se listan los diferentes elementos que hacen parte del Banco Gravimétrico de Líquidos, con una breve descripción de su funcionamiento:

#### **4.4.1 Diverter**

El diverter es un dispositivo usado para alternar la dirección del fluido a lo largo de su curso normal o hacia el tanque de pesaje. Este es lo suficientemente rápido para reducir la posibilidad de que ocurra un error significativo en la medición del tiempo de llenado. Esto se logra por el rápido movimiento del diverter a través de una delgada capa de líquido formado por una boquilla. Generalmente, esta hoja de líquido tiene una longitud de 15 a 20 veces su ancho en la dirección del desplazamiento del diverter. La caída de presión a través de la ranura de la boquilla no debe exceder de 20.000 Pa (0,2 atm) para evitar salpicaduras y la inclusión de aire a través de la boquilla y se generen turbulencias en el tanque de pesaje. El movimiento del diverter es generado con un pistón.

Se debe realizar revisiones frecuentes en el servicio, que ninguna fuga o salpicaduras de líquido se produzca ya sea hacia el exterior o desde un canal de desvío a la otra.

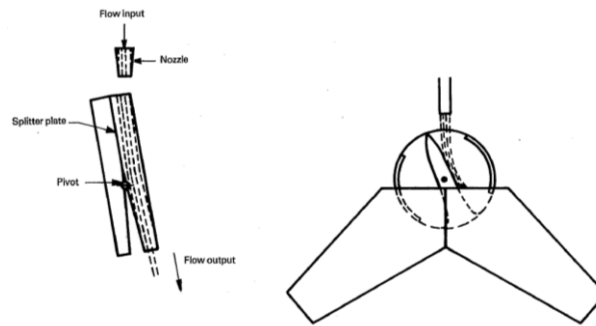
---

<sup>6</sup> ISO 4185.Measurement of liquid flow in closed conduits-weighing method.1978; pág. 7 y 8.

Los efectos del error producido por el diverter en el caso de los bancos de calibración de alta precisión, son una parte crítica en lo correspondiente a la incertidumbre, por tal razón se requiere un adecuado y cuidadoso diseño. En la

Figura 4 se observa el perfil de una válvula desviadora (Diverter).

**Figura 4.** Diverter

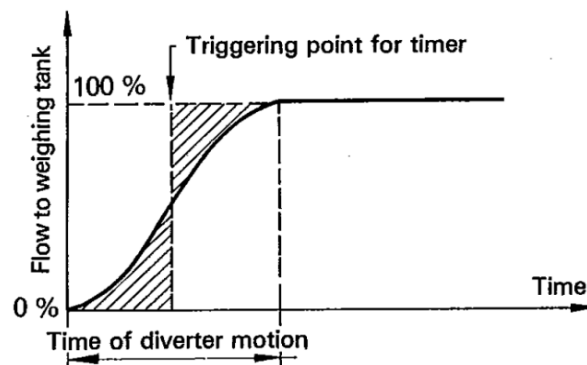


**Fuente:** Norma ISO 4185

#### 4.4.2 Medición del tiempo

La medición del tiempo se realiza a través de un contador de Opto 22 el cual es activado por el movimiento propio del diverter como se observa en la Figura 5 a través de un sensor óptico, el cual se encuentra ubicado en el punto medio del recorrido del diverter en el chorro de fluido, generando un error que es insignificante siempre y cuando, el tiempo que demora el diverter en atravesar el chorro sea despreciable en comparación con el periodo de desviación al tanque.

**Figura 5.** Operación del diverter en el tiempo<sup>7</sup>



<sup>7</sup> ISO 4185. Measurement of liquid flow in closed conduits-weighing method.1978; pág.8

**Fuente:** Norma ISO 4185

El funcionamiento del diverter, es idéntico en ambas direcciones, por tanto el temporizador puede iniciarse y detenerse en el instante en que se inicia el movimiento del diverter en cada dirección; este es el caso en particular cuando la velocidad de tiempo de flujo es lineal.

#### **4.4.3 Tanque de pesaje**

El tanque en el que el flujo es descargado en cada etapa de medida deberá tener la capacidad suficiente para que el error en el tiempo sea insignificante. El tiempo de llenado de la velocidad de flujo máxima esperada será de al menos 30 s. Sin embargo, este tiempo puede reducirse siempre que sea posible determinar experimentalmente, de acuerdo con los procedimientos como se describen en el anexo A de la norma ISO 4185.

#### **4.4.4 Dispositivos auxiliares**

Entre estos elementos se cuentan las RTD's y los transmisores de presión como se observa en la Figura 6 y Figura 7, para medir y monitorear la temperatura y presión aguas abajo y aguas arriba del medidor, además cuenta con instrumentos para monitorear las condiciones atmosféricas (presión, temperatura y humedad).

El Banco Gravimétrico de líquidos posee un caudalímetro electromagnético SIMENS para monitorear el funcionamiento del proceso de calibración.

**Figura 6.** RTD del Banco Gravimétrico de Líquidos



**Fuente:** Banco Gravimétrico CDT de GAS

**Figura 7.** Transmisor de Presión del Banco Gravimétrico de Líquidos



**Fuente:** Banco Gravimétrico CDT de GAS

## **4.5 CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO SIEMENS<sup>8</sup>**

### **4.5.1 Principio de funcionamiento**

El principio de funcionamiento del caudalímetro es la Ley de Faraday, enunciada en 1832 por Michael Faraday. En ella se establece que la tensión inducida a través de cualquier conductor que se mueve en ángulo recto a través de un campo magnético es proporcional a la velocidad de ese conductor. Es decir según la Figura 8 que  $E$  es proporcional a  $V \times B \times L$ , el voltaje depende de la velocidad del líquido promedio  $V$ , la intensidad del campo magnético  $B$ , y la longitud del conductor  $L$ , que en el caudalímetro es la distancia entre los electrodos. Para obtener la magnitud de la tensión  $E$ , estos tres valores se multiplican junto con una constante.

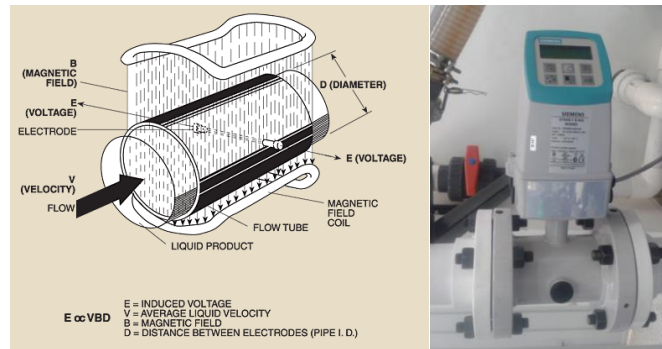
Para aplicar esta ley a la medición de caudal es fundamental cerciorarse de que el fluido sea conductor de la electricidad; se ubican las bobinas paralelas al flujo del fluido a ángulos rectos (como indica la ley) de un conjunto de electrodos a los lados del tubo, generando así un campo magnético en toda la sección transversal del tubo. El tubo y el revestimiento deben estar hechos de plástico, caucho, teflón u otro material no magnético, para evitar alteraciones del campo magnético generado.

---

<sup>8</sup> Corchuelo Juan David, <<CAUDALÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO>>. [En Línea]. Disponible en: [http://www.omega.com/prodinfo/Magmeter\\_Graphic1.html](http://www.omega.com/prodinfo/Magmeter_Graphic1.html). Accedido [30-Mayo-14]

Cuando el fluido (libre de vacíos) pasa a través de las bobinas, se induce un pequeño voltaje en los electrodos que es proporcional al cambio del campo magnético, el caudalímetro usa este valor para calcular el caudal del líquido.

**Figura 8.** Caudalímetro Electromagnético SIMENS



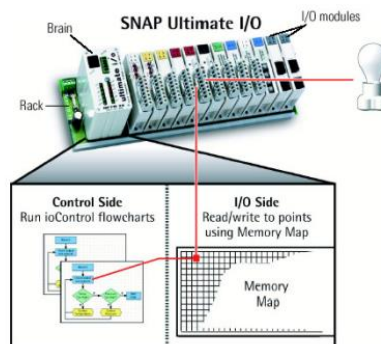
**Fuente:** Banco Gravimétrico CDT de GAS

#### 4.6 OPTO 22 SNAP PAC [6]

Es un sistema que tiene integrado el controlador y el brain, es programable en un lenguaje basado en diagramas de flujo (nombrado como flowcharts, en la literatura de OPTO22), tiene interconectividad Ethernet y posee conectividad con una serie de protocolos estándares.

El PAC se instala sobre un rack de Opto22 y soporta una mezcla de módulos análogos, digitales y de propósito especial, como se muestra en la Figura 9. El PAC es programado usando PAC Control, una herramienta de programación basada en diagramas de flujo para control industrial y aplicaciones de procesos.

**Figura 9.** Rack, Brain y Snap de Opto22



**Fuente:** Manual Curso PAC Opto22, Base de datos Corporación CDT de GAS

#### 4.6.1 PAC Display<sup>9</sup>

Es un paquete de software utilizado para crear interfaces hombre-máquina (HMI), para la vigilancia de los sistemas de control, proporcionando en tiempo real información histórica para el operador sobre el desempeño de las diferentes partes de un sistema de control. En la Figura 10 se observa un ejemplo de una HMI y la pantalla principal.

**Figura 10.** PAC Display de Opto 22



**Fuente:** Manual Curso PAC Opto22

#### 4.6.2 PAC Control<sup>10</sup>

PAC control, es una herramienta intuitiva basada en diagrama de flujo para la programación de la automatización industrial, monitoreo remoto y aplicaciones de adquisición de datos.

PAC Control utiliza un conjunto de comandos de plain-English integral, que incluye comandos para proceso analógico y digital de control secuencial, matemáticas complejas, ramificación condicional, manejo de cadenas, control de dispositivos serie, control de bucle PID, matrices de datos y otras funciones complejas. PAC control se basa en diagramas de flujo, que ofrece una alternativa más intuitiva de lenguaje de programación, y también ofrece un lenguaje de scripting avanzado opcional similar a C o Pascal. En la Figura 11 se puede observar la pantalla principal de PAC control de Opto 22.

---

<sup>9</sup> Opto22, <<PAC Display>>. [En Línea]. Disponible en:[http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?cid=4&item=PACDISPLAYBAS](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?cid=4&item=PACDISPLAYBAS). Accedido [3-Junio-14]

<sup>10</sup> Opto22, <<PAC Control>>. [En Línea]. Disponible en web [http://www.opto22.com/site/pr\\_details.aspx?cid=1&item=PACCONTROLBAS](http://www.opto22.com/site/pr_details.aspx?cid=1&item=PACCONTROLBAS). Accedido [3-Junio-14]

**Figura 11.** PAC Control de Opto 22



**Fuente:** Manual Curso PAC Opto22

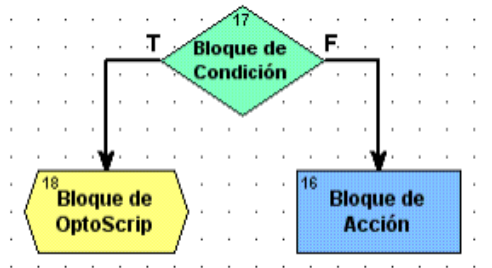
### 4.6.3 Chart [1]

Es una serie de instrucciones en forma de diagrama de flujo en opto control, también llamado tarea. Cada chart controla un aspecto de la estrategia, una parte del proceso de automatización. En conjunto todos los charts constituyen la estrategia. Los charts están constituidos por bloques conectados por flechas, que indican como fluye el proceso como se ve en la Figura 12.

Estos bloques pueden ser:

- **Bloques de Acción:** Son bloques rectangulares que contienen comandos o instrucciones a ser ejecutadas, un bloque puede incluir muchos comandos y tener varias entradas pero solo una salida.
- **Bloques de Condición:** Poseen forma de diamante y contienen condiciones que controlan el flujo lógico de una estrategia de opto control. Los bloques de condiciones pueden tener varias entradas pero solo dos salidas: verdadero y falso. Más de una condición puede ser evaluada en un solo bloque de condición. Los operadores AND y OR determinan si todas la condiciones deben ser verdaderas para obtener una salida verdadera (AND) o si solo una condición debe ser cierta para obtener una salida verdadera (OR).
- **Bloques de OptoScript:** Bloques en forma hexagonal que contienen lenguaje de programación Opto script. Estos bloques pueden tener varias entradas pero solo una salida.

**Figura 12.** Bloque de Opto Control



**Fuente:** Manual OPTO 22 PAC CONTROL, Corporación CDT de GAS.

## 4.7 CONTROLADOR PID<sup>11</sup>

Un PID es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El peso de la influencia que cada una de estas partes tiene es la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretende lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

A continuación se detalla la acción de control proporcional, integral y derivativo.

### 4.7.1 Acción de control proporcional (P):

Da una salida del controlador que es proporcional al error, es decir:  $u(t) = k_p e(t)$  que descrita desde su función transferencia queda:

$$C_p(s) = k_p$$

**Ecuación 1.** Función de transferencia de P

---

<sup>11</sup> V. Mazzone. << “Controladores PID”, Control Automático 1>>. [en línea]. Disponible en web: <http://www.eng.newcastle.edu.au/~jhb519/teaching/caut1/Apuntes/PID.pdf>. Accedido [8-Julio-14]

Donde  $K_p$  es una ganancia proporcional ajustable. Un controlador proporcional puede controlar cualquier planta estable, pero posee desempeño limitado y error en régimen permanente (off-set).

#### 4.7.2 Acción de control integral (I):

Da una salida del controlador que es proporcional al error acumulado, es decir :  $u(t) = k_i \int_0^{-t} e(\tau) d\tau$ , lo que implica que es un modo de controlar lento. Descrita desde la función de transferencia queda:

$$C_i(s) = \frac{k_i}{s}$$

#### Ecuación 2. Función de transferencia de I

La señal de control  $u(t)$  tiene un valor diferente de cero cuando la señal de error  $e(t)$  es cero. Por lo que se concluye que dada una referencia constante, o perturbaciones, el error en régimen permanente es cero.

#### 4.7.3 Acción de control derivativa (D):

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D. es decir:  $u(t) = k_d \frac{de(t)}{dt}$  Descrita desde de función de transferencia queda:

$$C_d(s) = sT_d$$

#### Ecuación 3. Función de transferencia de D

La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

#### 4.7.4 Acción de control Proporcional, Integral y Derivativo (PID):

Esta acción combinada reúne las ventajas de cada una de las tres acciones de control individuales. La ecuación de un controlador con esta acción combinada se obtiene mediante:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{k_p}{T_i} \int_0^{-t} e(\tau) d\tau + k_p T_d \frac{de(t)}{dt}$$

#### Ecuación 4. Controlador PID

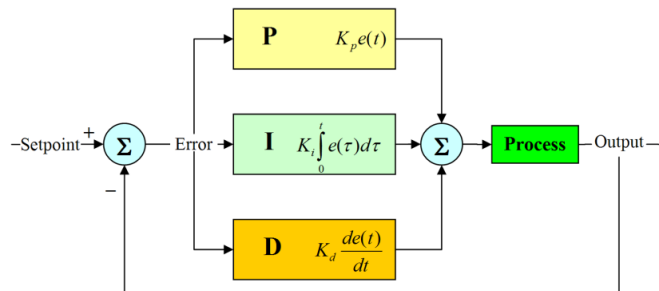
Y cuya función de transferencia resulta:

$$C_{PID}(s) = k_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

#### Ecuación 5. Función de transferencia de un PID

Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. En la Figura 13 se presenta el diagrama de bloques de un control PID.

**Figura 13.** Diagrama de bloques de un controlador PID



**Fuente:** Programación Siemens

### 4.8 SINTONIZACIÓN DE UN PID

A continuación se presentan los principales métodos de sintonización de un controlador PID.

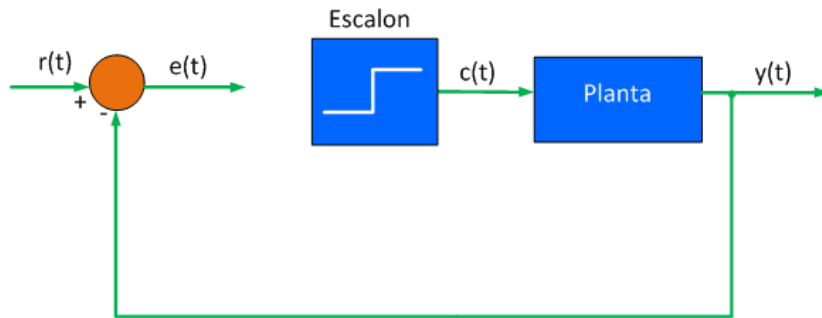
#### 4.8.1 Primer Método de Ziegler Nichols<sup>12</sup>

Ziegler y Nichols determinaron los parámetros de los controladores P, PI y PID, a través de pruebas y experimentos, con base en las características de respuesta transitoria de una planta específica. En el primer método propuesto, obtuvieron la curva de respuesta de la planta a una entrada escalón, denominada curva de

<sup>12</sup> K Ogata. Ingeniería de control moderna, tercera Edición.

reacción. El método consiste en aplicar una señal escalón a la planta, como se observa en la Figura 14, e historizar la respuesta del sistema.

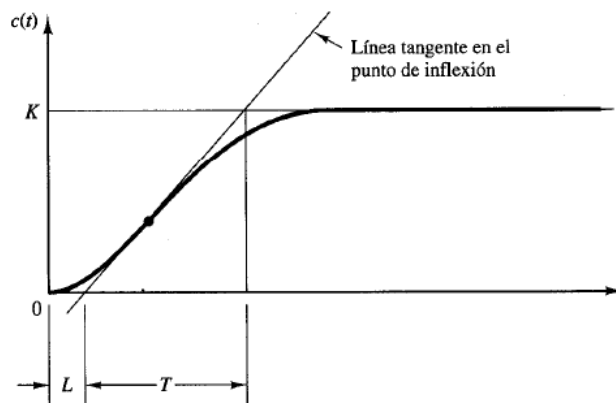
**Figura 14.** Método uno de Ziegler-Nichols



**Fuente:** K.Ogata. Ingeniería de control moderna

Con los datos obtenidos, se grafica la respuesta como se muestra en la Figura 15 donde en el eje **X**, se establece el tiempo y en el eje **Y** la variable del proceso. Se traza una recta tangente en un punto de inflexión (normalmente el 50 % de la curva de subida). El tiempo **L** corresponde al tiempo muerto, este es el tiempo que tarda el sistema en comenzar a responder. Este intervalo se mide desde que la señal escalón sube, hasta el punto de corte de la recta tangente con el valor inicial del sistema. **T** es el tiempo de subida. Este tiempo se calcula desde el punto en que la recta tangente corta el valor inicial del sistema hasta el punto en que la recta tangente llega al valor final del sistema.

**Figura 15.** Gráfica de la respuesta del sistema ante una señal tipo escalón.



**Fuente:** K.Ogata. Ingeniería de control moderna

Con los valores de L y T, Ziegler y Nichols sugirieron establecer los valores de  $K_p$ ,  $T_i$  y  $T_d$  de acuerdo con la fórmula que aparece en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Regla de sintonización de Ziegler- Nichols basada en la respuesta escalón de la planta.

TIPO DE CONTROLADOR	$K_p$	$T_i$	$T_d$
P	$\frac{T}{L}$	$\infty$	0
PI	$0,9\frac{T}{L}$	$\frac{L}{0,3}$	0
PID	$1,2\frac{T}{L}$	$2L$	$0,5L$

**Fuente:** K.Ogata. Ingeniería de control moderna

Se puede observar que el controlador PID sintonizado mediante el primer método de las reglas de Ziegler-Nichols produce:

$$G_c(s) = K_p \left( 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

#### Ecuación 6

Reemplazando los valores de la Tabla 2:

$$G_c(s) = 0,6T \frac{\left(s + \frac{1}{L}\right)^2}{s}$$

#### Ecuación 7

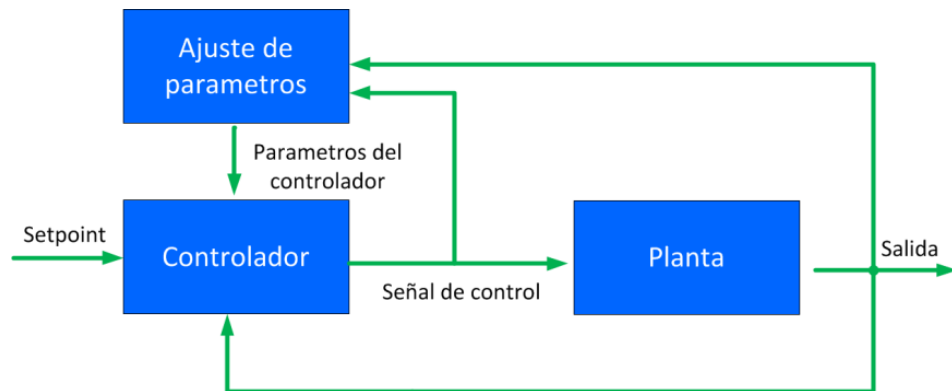
### 4.9 CONTROL POR AJUSTES DE TABLAS

El ajuste por tablas tiene su enfoque en el control adaptativo definido por Karl Armstrong, como un controlador con parámetros ajustables<sup>13</sup>. Este controlador tiene una estructura especial con dos lazos de realimentación, donde un lazo es la

<sup>13</sup> K. Astrom, B Wittenmark "Adaptive Control", 2nd Edition. Addison-Wesley.1994

realimentación normal del controlador y el otro es el de ajuste de los parámetros (constantes) del mismo, como se muestra en siguiente figura.

**Figura 16.** Control con parámetros ajustables.



**Fuente:** K. Astrom, B Wittenmark “Adaptive Control”, 2<sup>nd</sup> Edition. Addison-Wesley.1994

Este tipo de control se utiliza normalmente cuando un sistema posee variaciones importantes en la planta. Se realizan caracterizaciones de los escenarios principales y los parámetros de ajuste de cada escenario se registran normalmente en el sistema, y cuando se trabaje en un escenario definido, se aplican los parámetros de dicho escenario<sup>14</sup>.

---

<sup>14</sup> K. Astrom, B Wittenmark “Adaptive Control”, 2<sup>nd</sup> Edition. Addison-Wesley.

## **5 ACTIVIDADES DESARROLLADAS**

Como cumplimiento a los objetivos planteados en el numeral 3, se desarrollaron las siguientes actividades.

### **5.1 APROPIACIÓN DE CONOCIMIENTO MEDIANTE REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA Y PROGRAMA DE FORMACIÓN INTERNA**

Para poder definir los parámetros y límites de control para la implementación de la estrategia de aseguramiento metrológico se necesitan bases previas en el área de metrología. Por ende se realizaron las siguientes actividades:

#### **5.1.1 Formación en metrología básica**

Incluyendo temas como:

- Caracterización de la metrología
- Organización metrológica
- Magnitudes básicas y unidades
- Vocabulario empleado en metrología

#### **5.1.2 Formación en conceptos de la medición de caudal de fluidos**

Incluyendo temas como:

- El concepto de caudal
- Propiedades de los fluidos
- Regímenes de flujo y perfiles de velocidad

#### **5.1.3 Formación en metrología aplicada a la medición de fluidos**

Incluyendo temas como:

- Conceptos de calibración
- Propiedades de los instrumentos de medición

#### 5.1.4 Capacitación en el área de manometría y termometría

Esta se dividió en dos secciones teórica y práctica, cada una con una intensidad de 2 horas, en la sección práctica se realizó el proceso de calibración a un transmisor de presión, manómetro tipo Bourdon y RTD, con la supervisión de un profesional en calibraciones y ensayos.

#### 5.1.5 Formación en aseguramiento metrológico

Incluyendo temas como:

- Sistema de aseguramiento metrológico
- Gestión de los recursos
- Confirmación metrológica y realización de los procesos de medición
- Análisis y mejora del sistema de aseguramiento metrológico

### 5.2 DEFINIR LOS ELEMENTOS SUSCEPTIBLES Y QUE POR ENDE NECESITEN ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

Para definir los elementos susceptibles se necesita conocer el modelo matemático utilizado en el banco gravimétrico de líquidos, ya que a través de este se identificarán dichos elementos.

Para la determinación del caudal másico y volumétrico el banco de líquidos gravimétrico de la corporación CDT de GAS se basó en un modelo matemático el cual se encuentra descrito en un documento publicado por el CENAM (Centro Nacional de Metrología) titulado “COMPARACIÓN INTERNA ENTRE EL SISTEMA GRAVIMÉTRICO DE PESAJE ESTÁTICO Y EL SISTEMA VOLUMÉTRICO DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO TIPO PISTÓN”. El cual se describe a continuación.

#### 5.2.1 Modelo matemático para la determinación de la masa de agua corregida colectada en el sistema:

$$m_c = m_i * C_{Div} * \frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_P}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}} \quad (kg)$$

**Ecuación 8.** Determinación de la masa corregida colectada en el sistema

Dónde:

- $m_c$  : Es la masa de agua corregida colectada en el sistema (kg).

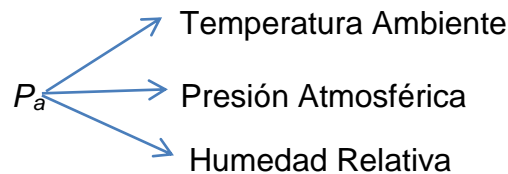
- $m_i$ : Masa indicada (kg).
- $C_{Div}$ : Factor de corrección de la masa debido a errores de la válvula desviadora de flujo (Diverter).
- $\rho_a$ : Densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho_p$ : Densidad de las pesas utilizadas en la caracterización de los sistemas de pesado ( $\text{kg/m}^3$ ).
- $\rho$ : Densidad del agua colectada en los tanques ( $\text{kg/m}^3$ ).

A continuación se explicará con más detalle los factores que influyen en la Ecuación 8.

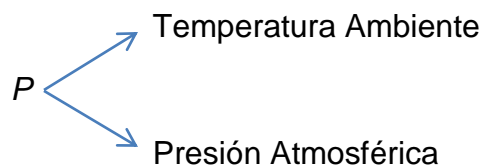
El siguiente término hace referencia a la corrección por flotabilidad ejercida por la atmósfera en una masa dada de líquido.

$$\frac{1 - \frac{\rho_a}{\rho_p}}{1 - \frac{\rho_a}{\rho}}$$

- Para determinar la densidad del aire ( $\rho_a$ ) se necesita tener en cuenta los siguientes factores:



- El valor de la densidad de las pesas ( $\rho_p$ ) se encuentra en el certificado de calibración de las balanzas.
- Para determinar la densidad del agua ( $\rho$ ) se debe tener en cuenta los siguientes factores:



- La  $C_{Div}$  se determina basándose en el anexo A de la norma ISO 4185.

Teniendo en cuenta los factores de influencia en el modelo matemático es necesario realizar aseguramiento metrológico a la temperatura, presión y el diverter para

poder determinar la  $C_{Div}$ , la humedad relativa se puede medir en el banco pero como su aporte no es muy relevante no hace parte del aseguramiento metrológico.

Ahora se mencionara el modelo matemático para la determinación del volumen.

### 5.2.2 Modelo matemático para la determinación del volumen del medidor bajo prueba:

$$V_m = \frac{m_c}{\rho_L * C_{PL}} \quad (L)$$

**Ecuación 9.** Determinación del volumen a las condiciones del medidor bajo prueba

Dónde:

- $V_m$ : Volumen a las condiciones del medidor bajo prueba ( $m^3$ ).
- $m_c$ : Es la masa de agua corregida colectada en el sistema (kg).
- $P_L$ : Densidad del agua en la línea ( $kg/m^3$ ).
- $C_{PL}$ : Factor de corrección por compresibilidad del líquido en la línea. (Adimensional).
- El factor de Compresibilidad  $C_{PL}$  está dado por:

$$C_{PL} = \left[ 1 + \begin{pmatrix} 50,74 \cdot 10^{-11} \\ -0,326 \cdot 10^{-11} \cdot T_L \\ +0,00416 \cdot 10^{-11} \cdot T_L^2 \end{pmatrix} (P_L - 81500) \right] \quad (Adimensional)$$

### Ecuación 10

Dónde:

$P_L$ : Es la presión absoluta de la línea (Pa)

$T_L$ : Es la temperatura de la línea ( $^{\circ}C$ )

La presión absoluta de la línea es igual a:

Presión Atmosférica + Presión del banco

Por ende para determinar la Presión del banco se incorporaron dos transmisores de presión, uno se encuentra aguas arriba del medidor (Entrada del MUT) y el otro aguas abajo del medidor (Salida del MUT).

Para determinar la temperatura de la Línea se incorporó en el sistema dos RTD's una aguas arriba y la otra aguas abajo del medidor.

Observando el modelo matemático anterior se puede definir por completo los elementos susceptibles es decir aquellos que influyen en gran parte el modelo matemático y que por ende necesitan de un aseguramiento metrológico, dichos elementos son:

- **Presión:** Presión Atmosférica, Presión de entrada y salida del MUT.
- **Temperatura:** Temperatura Ambiente, Temperatura de entrada y salida del MUT y se monitoreara las temperatura en cada uno de los tanques.
- **Diverter:** Determinación de la constante del diverter según el anexo A de la norma ISO 4185.
- **Tiempo:** Verificación del reloj interno de Opto 22.

### 5.3 DEFINIR EL PROCEDIMIENTO DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

A continuación se describirá brevemente el procedimiento de aseguramiento metrológico para la magnitud de presión y temperatura.

#### 5.3.1 Presión

Para la realización de la estrategia de aseguramiento metrológico se debe visualizar la variable corregida y la no corregida donde:

- Variable no corregida: Es la presión actual que está midiendo el transmisor de presión.
- Variable Corregida: Es la presión que se obtiene con la corrección obtenida a través de la ecuación de la recta ( $mx+b$ ), cuando el instrumento requiera ajuste.
- Se decidió modelar la curva de calibración de los transmisores de presión con la ecuación de la recta ( $mx+b$ ) ya que estos poseen un comportamiento lineal.

#### 5.3.2 Temperatura

Debido a que las RTD's poseen un comportamiento lineal al igual que los transmisores de presión, se decidió modelar la curva de calibración de las RTD's con la ecuación de la recta ( $mx+b$ ) siendo esta la variable corregida del aseguramiento metrológico.

### 5.3.3 Diverter<sup>15</sup>

Según la norma ISO 4185 para un sistema bien diseñado, el error que se produce debido a la conmutación del temporizador de encendido y apagado para un ciclo de arranque y parada del desviador (Diverter), puede corresponder a un valor de 0 a 25 ms. Este error depende de la velocidad de flujo y la ubicación exacta del actuador con respecto al flujo de líquido que sale de la ranura de la boquilla del diverter. Este error no se debe asumir que sea insignificante, debe ser evaluado por las pruebas experimentales.

El procedimiento que se utilizará es el método de pesaje estático el cual se divide en tres pruebas estándar.

- **Prueba Estándar 1:** Esta prueba se ejecuta cuando se establece flujo constante en la válvula de control durante un tiempo para determinar la velocidad del flujo.
- **Prueba Estándar 2:** A continuación, una serie de flujos cortos o ráfagas de flujo (hasta 25 explosiones) son desviados hacia el tanque de pesaje sin restablecer el temporizador, por el mismo tiempo de la prueba estándar 1; El flujo se determina entonces a partir de la masa totalizada y el tiempo totalizado.
- **Prueba Estándar 3:** Una segunda determinación estándar se realiza en el flujo constante es decir igual que la prueba estándar 1.

Una vez realizadas las pruebas, se debe promediar los resultados de la prueba estándar 1 y 3, y se comparan con la determinación de flujo totalizado.

Si la masa totalizada para n ráfagas es aproximadamente igual a la prueba estándar 1 y 3, se puede demostrar que la media del error de temporización debido a  $\Delta t$  para un ciclo es aproximadamente igual a:

$$\Delta t = \frac{t}{n-1} \left\{ \frac{q}{q'} * \frac{(\sum_1^n \Delta m_i) / (\sum_1^n t_i)}{\frac{(m_1 - m_0)}{t}} - 1 \right\}$$

**Ecuación 11.** Determinación de  $\Delta t$

Dónde:

---

<sup>15</sup> ISO 4185. Measurement of liquid flow in closed conduits-weighing method. 1978. Annex A. Corrections on the measurement of filling time. Pág. 16

- $t$  : Tiempo de duración de la prueba en segundos.
- $n$  : Número de ráfagas.
- $q$  : Promedio del caudal de la prueba estándar 1 y 3.
- $q'$ : Promedio del caudal de la prueba estándar 2.
- $\frac{(m_1 - m_0)}{t}$  : Es la velocidad de flujo determinado por el procedimiento estándar es decir prueba estándar 1 y 3.
- $(\sum_1^n \Delta m_i) / (\sum_1^n t_i)$ : Es la velocidad de flujo determinada por la masa totalizada y el tiempo totalizado para  $n$  ráfagas.
- $q$  y  $q'$ : Son índices de flujo durante el funcionamiento normal y durante las  $n$  ráfagas respectivamente. El término correctivo  $\frac{q}{q'}$  tiene en cuenta las variaciones de caudal, si las hay, entre ambas pruebas.

Después de realizado el procedimiento anterior y se haya repetido a través de una amplia gama de caudales, para cualquier otra medición, será posible, corregir el tiempo de llenado medido por el valor determinado  $\Delta t$ , es decir:

$$C_{\text{corregida}} = \text{Promedio del caudal (Prueba estándar 1 y 3)} * \Delta t$$

**Ecuación 12.** Determinación del factor de corrección de masa

$$C_{\text{diverter}} = \frac{\text{Promedio de } m_i \text{ y } m_0 \text{ (Prueba estándar 1 y 3)}}{(\text{Promedio de } m_i \text{ y } m_0 \text{ (Prueba estándar 1 y 3)} - C_{\text{corregida}})}$$

**Ecuación 13.** Determinación de la constante del diverter

Este procedimiento se debe implementar en la estrategia de aseguramiento metrológico para la determinación de la constante del diverter.

### 5.3.4 Tiempo

Esta sección del aseguramiento metrológico permite una verificación del reloj interno de Opto 22, a través de una prueba donde se genera un valor de frecuencia con un multicalibrador como el que se observa en la Figura 17 y se compara con los resultados obtenidos en Opto 22, esta prueba se explicara con más detalle en la sección de ejecución de pruebas de operación.

**Figura 17.** Multicalibrador ISOCAL MCS-12



**Fuente:** Tomado de Internet <<[## 5.4 IMPLEMENTACIÓN DE LA ESTRATEGIA DE CONTROL E INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA \(HMI\)](http://www.presys.com.br/pt/calibradores/mcs-12/>></a></p></div><div data-bbox=)

### 5.4.1 Magnitud de Temperatura y Presión

En la Figura 18, se observa el inicio de la pantalla de la estrategia de aseguramiento metrológico del banco gravimétrico de líquidos.

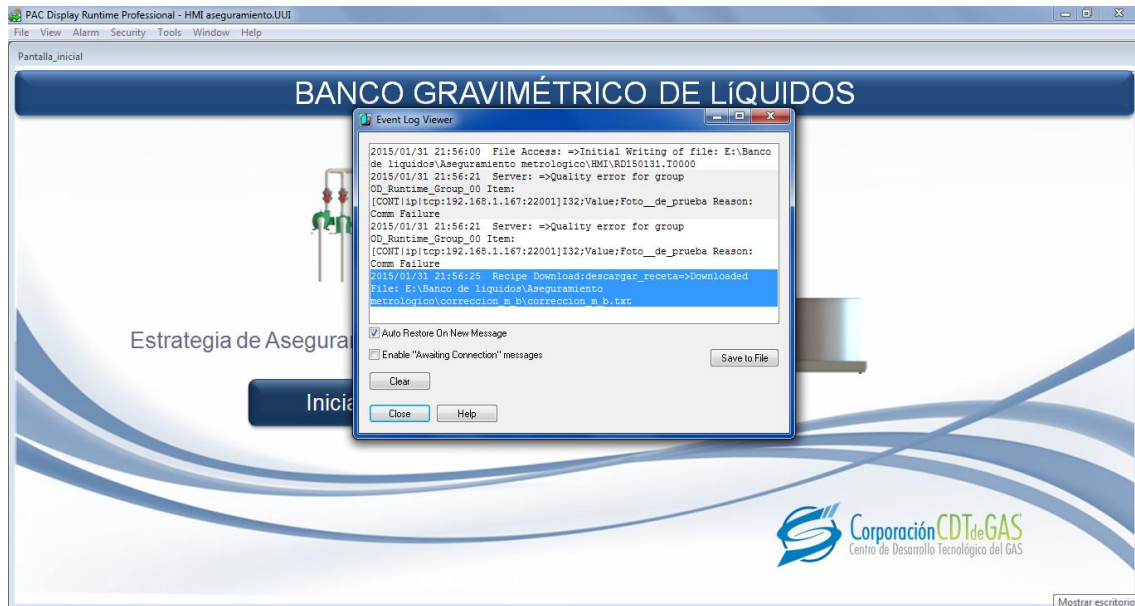
**Figura 18.** HIM de Aseguramiento Metrológico



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

Al oprimir el botón de inicio, aparece un evento el cual se puede evidenciar en la siguiente figura donde descarga las constantes de “m” y “b” las cuales se encuentran en un archivo txt, que se explicara más adelante.

**Figura 19.** Notificación de descarga de la contantes m y b



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

A continuación se encuentra la selección de los elementos a realizar aseguramiento metrológico los cuales son: Temperatura, presión, Diverter y tiempo.

**Figura 20.** Selección del elemento a calibrar o verificar



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

Al seleccionar Temperatura se observa la Figura 21, en donde se visualiza:

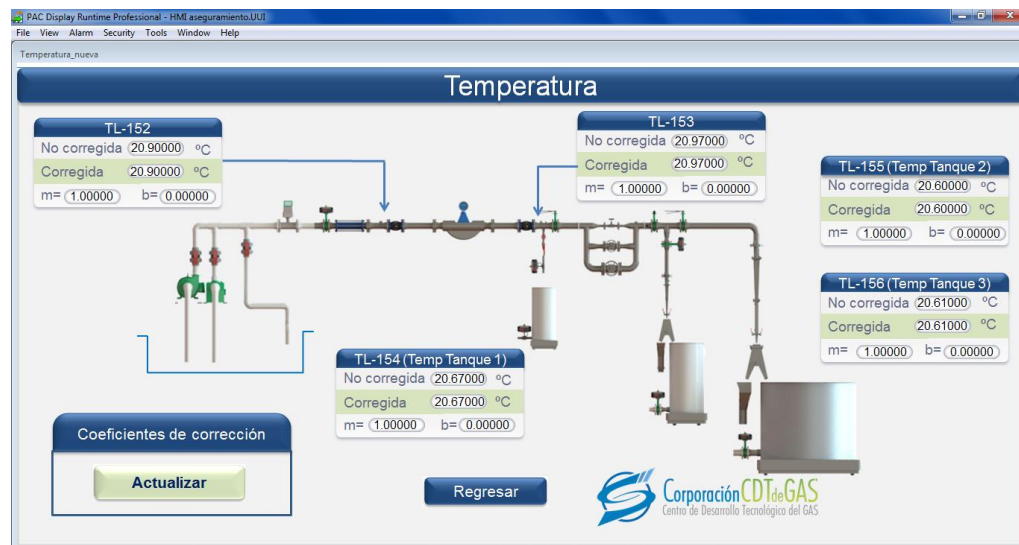
- Temperatura de entrada de MUT (TL-152)
- Temperatura de salida de MUT (TL-153)
- Temperatura Tanque 1 (TL-154)
- Temperatura Tanque 2 (TL-155)
- Temperatura Tanque 3 (TL-156)

Al seleccionar Presión se observa la Figura 22, en donde se visualiza:

- Presión de entrada del MUT (PL-210)
- Presión de salida del MUT (PL-211)
- Presión atmosférica (PL-212)

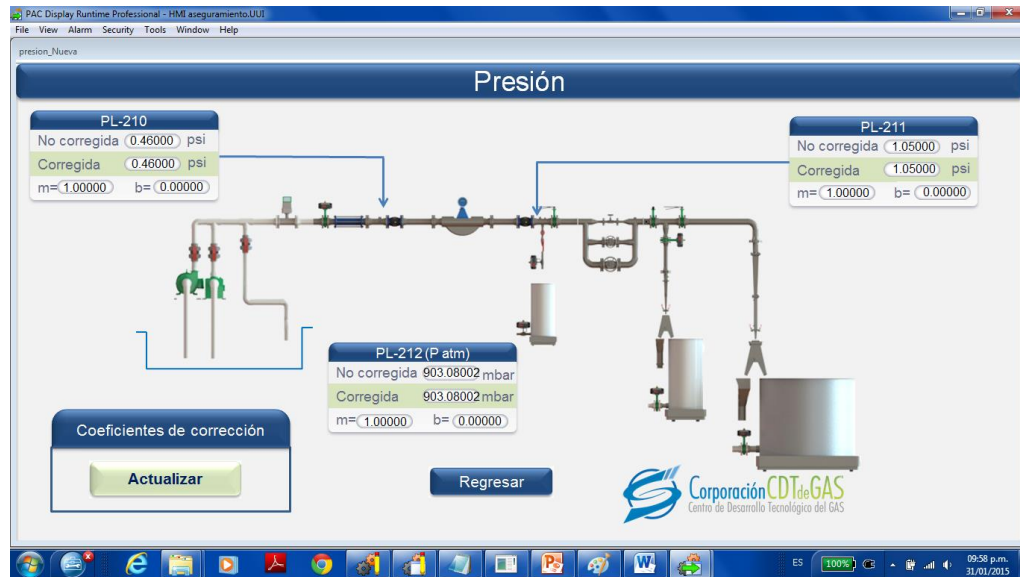
Además de los Coeficientes de corrección en donde se pueden actualizar los valores de “m” y “b”.

**Figura 21.** HIM de Aseguramiento Metrológico para la magnitud de Temperatura



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

**Figura 22.** HIM de Aseguramiento Metrológico para la magnitud de Presión



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

### 5.4.2 Diverter

Al seleccionar “Diverter” aparecerá la pantalla que está a continuación, donde se deberá ingresar los datos iniciales de la prueba y seleccionar la válvula desviadora que se desea utilizar.

**Figura 23.** HIM de Aseguramiento Metrológico para el Diverter



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

Una vez ingresados los datos, acuar en el botón “Validar Datos”, si los datos se encuentran bien, se dará comienzo a la prueba como se muestra en la Figura 24.

**Figura 24.** HIM Ajuste de caudal



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto22.

En la sección de Ajuste de caudal se podrá visualizar:

- Caudal Objetivo (set point)
- Causal Actual (Caudal leído en el caudalímetro)
- Presión In MUT
- Presión Out MUT
- Temperatura In MUT
- Temperatura Out MUT

Es importante mencionar que para realizar el ajuste de caudal se necesitó de la implementación de un control PID, en el cual la determinación de la constante P, I y D fueron determinadas en una etapa anterior, por ende la Corporación CDT de GAS tomo la decisión de rescatar y utilizar dichas constantes ya que al ser esta la etapa final del Banco Gravimétrico de Líquidos, es importante poder integrar cada uno de los aportes de las diferentes etapas que hicieron realidad la culminación de este proyecto.

A continuación se explicara cómo se determinó el controlador para el ajuste de caudal.

Normalmente el diseño del controlador tiene como base el modelado del sistema, el cual consiste en entender la planta hasta el punto de llegar a describirlo por medio de un modelo matemático. En general los modelos de las plantas se han

desarrollado aplicando leyes físicas o procesando la información de entradas/salidas del sistema obtenidas en varios experimentos. Pero se debe tener en cuenta que la complejidad de muchos sistemas hace que la descripción a través de un modelo sea prácticamente imposible, y aun existiendo un modelo, las no linealidades o las variaciones del sistema en el tiempo hacen que este modelo se aparte del proceso real, por esto, siempre debe existir un compromiso entre exactitud y sencillez requeridas en los modelos matemáticos[2] .

Teniendo en cuenta lo expuesto y dada la versatilidad del banco, el cual permite calibrar medidores con diámetros desde ½" hasta 3", con un alcance que se extiende desde 3 kg/min hasta 1350 kg/min (además de poseer tres válvulas desviadoras y dos bombas), se hace evidente que la planta es variante en el tiempo, pues para medidores de diferente tamaño la planta cambia y matemáticamente su función de transferencia también. Por esto se decidió usar un enfoque diferente al tradicional para el diseño del controlador. Este diseño contó, como primer paso la definición de los escenarios críticos de operación del banco para su caracterización, como segundo paso la determinación de las constantes PID (sintonización) de cada uno de los escenarios (a través del primer método de Ziegler Nichols y finalmente la realización de un control por tablas, donde el controlador trabaja con parámetros ajustables. A continuación se exponen cada uno de los pasos usados para el diseño del controlador.

#### **5.4.2.1 Identificación de escenarios**

Los escenarios de operación o calibración se definieron teniendo en cuenta el patrón (y diámetro de tubería) seleccionado durante la calibración y la bomba utilizada para generar el caudal. En este caso se seleccionaron tres escenarios críticos descritos a continuación:

- El primero se define como el peor escenario de calibración (el de mayores pérdidas mecánicas), el cual se simuló con un medidor de ½" pulgada de diámetro (dentro del sensor del medidor se divide el flujo en dos ductos de ¼"), con el Diverter uno (1) y con la bomba uno (1).
- El segundo escenario es un punto intermedio. Se simuló con tubería de 2" de diámetro, con el Diverter dos (2) y la bomba uno (1) (sin medidor instalado en la línea).
- El tercero se define como el mejor escenario de calibración (el de menor pérdidas mecánicas), que se simuló con la instalación de la tubería de tres pulgadas, el Diverter tres (3) y la bomba dos (2) (sin medidor instalado en la línea).

A continuación, en la Tabla 3 se exponen los escenarios críticos de calibración.

**Tabla 3.** Identificación de escenarios de calibración

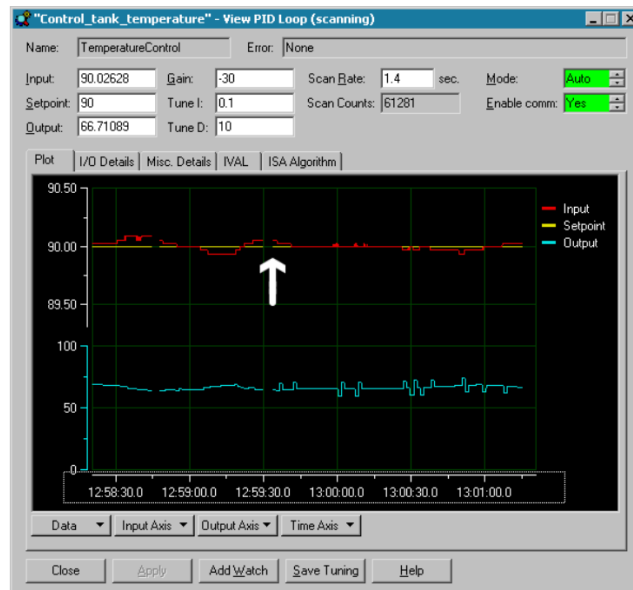
Escenarios de calibración	
Escenario 1	Calibración con balanza 1- Utilizando Bomba 1
Escenario 2	Calibración con balanza 2 - Utilizando Bomba 1
Escenario 3	Calibración con balanza 3- Utilizando Bomba 2

**Fuente:** Elaboración propia

### 5.4.2.2 Sintonización del PID

Para la sintonización del controlador en los diferentes escenarios seleccionados se utilizó el primer método de Ziegler Nichols, con la ayuda de la herramienta PID View del software PAC Control Pro de Opto 22. Esta permite manipular las constante Proporcional (Gain), Integral (Tune\_I), Derivativa (Tune\_D) y el periodo de muestreo, además realiza graficas en tiempo real de la entrada, setpoint y salida del controlador. De esta forma se puede observar el comportamiento del sistema ante el cambio de alguno de sus parámetros [3] (ver Figura 25). En el siguiente ítem se expone la caracterización realizada con el primer método de Ziegler-Nichols.

**Figura 25.** PID View de Opto 22



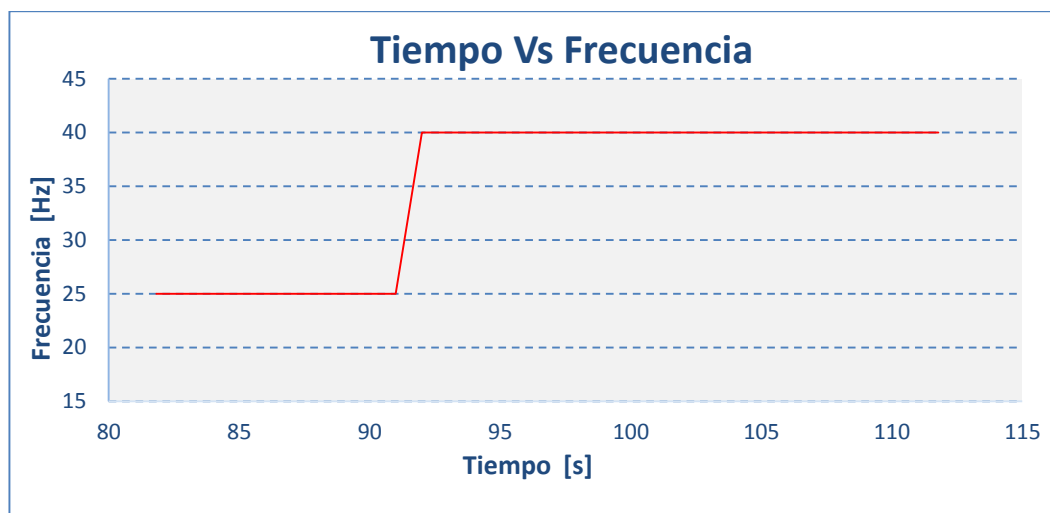
**FUENTE:** PID View del software PAC Control Pro de Opto 22

#### 5.4.2.2.1 Aplicación primer método de Ziegler Nichols:

De acuerdo a lo anterior, en cada escenario se caracterizó la planta mediante una señal tipo escalón representativa del alcance de caudal propio de cada escenario. El escalón corresponde a frecuencia de salida del variador de velocidad (que es proporcional al caudal que fluye por el banco). El proceso consistió en historizar el escalón (frecuencia del variador), el tiempo y el caudal registrado por el caudalímetro. Posteriormente se graficó la frecuencia vs el tiempo, y el caudal vs el tiempo. En el segundo diagrama se graficó la pendiente de la curva de ascenso de caudal y se realizaron los cálculos del primer método de Ziegler Nichols [4] (presentados en el numeral 1.5.5 de este libro). Posteriormente se realizaron cambios en las constantes a prueba y error hasta lograr la estabilidad requerida. A continuación se presentan los diagramas y constantes obtenidas en cada una de las pruebas realizadas.

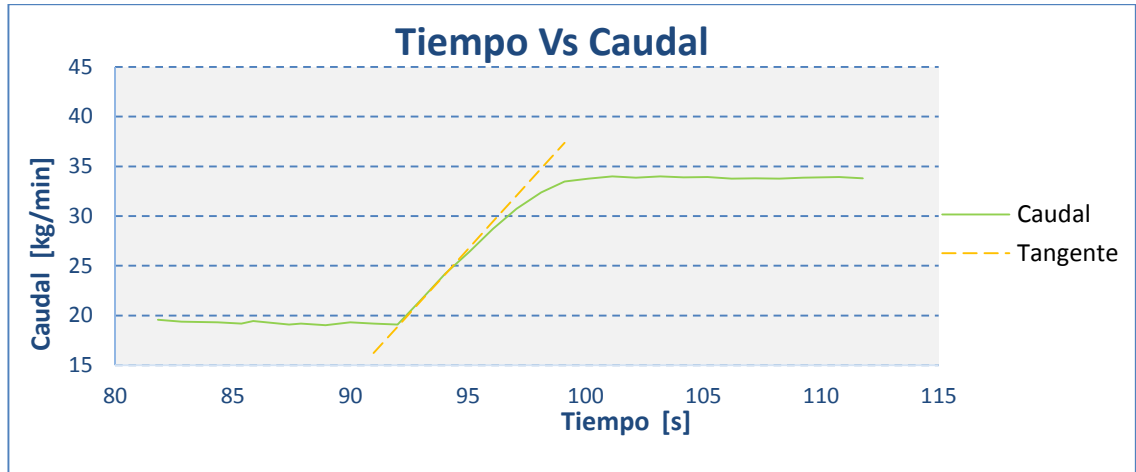
- **Escenario 1:**

**Figura 26.** Diagrama Tiempo vs Frecuencia de la señal tipo escalón para escenario 1



**Fuente:** Base de Datos Corporación CDT de GAS

**Figura 27.** Diagrama Tiempo vs caudal de la señal tipo escalón para escenario 1



**Fuente:** Base de Datos Corporación CDT de GAS

Las constantes obtenidas fueron:

**Tabla 4.** Constantes obtenidas

	k	Ki	kD
PI	-2,56	0,38	
PID	-3,41	0,85	3,41

**Fuente:** Corporación CDT de GAS

Se probaron los sistemas PI y PID, mostrando el segundo inestabilidades por encima del 2% del caudal objetivo. Este escenario trabaja con bajos caudales que es donde se presenta menor estabilidad del sistema (la bomba trabaja a una frecuencia muy baja y presenta inestabilidad en el rotor). No se definió Tune D para evitar generar más inestabilidad en el caudal). El PI resultó estable (ver Figura 31), por lo que se decidió este tipo de control. Posteriormente se sintonizaron las constantes dadas en la siguiente tabla:

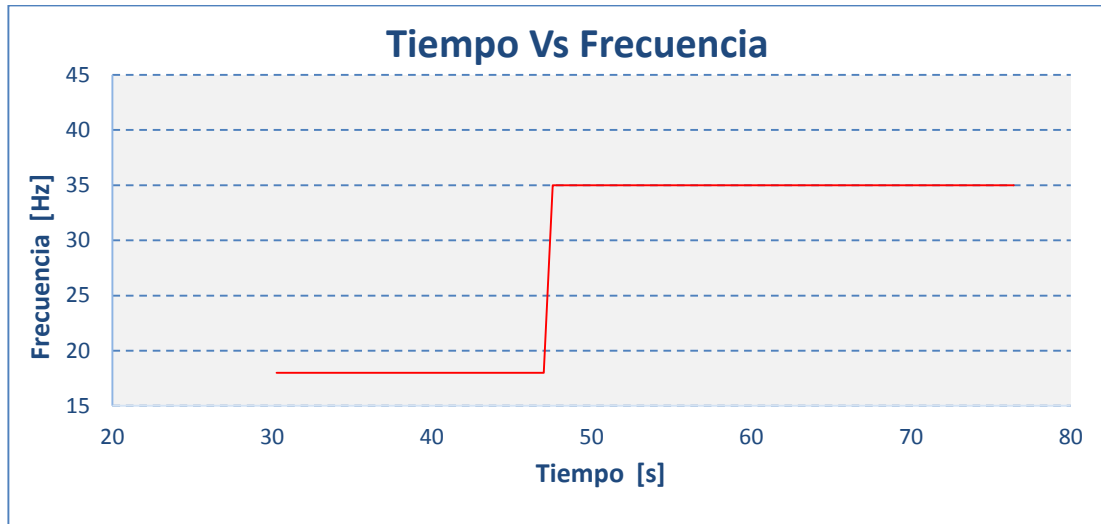
**Tabla 5.** Contantes sintonizadas

P	I
-2,6	0,4

**Fuente:** Corporación CDT de GAS

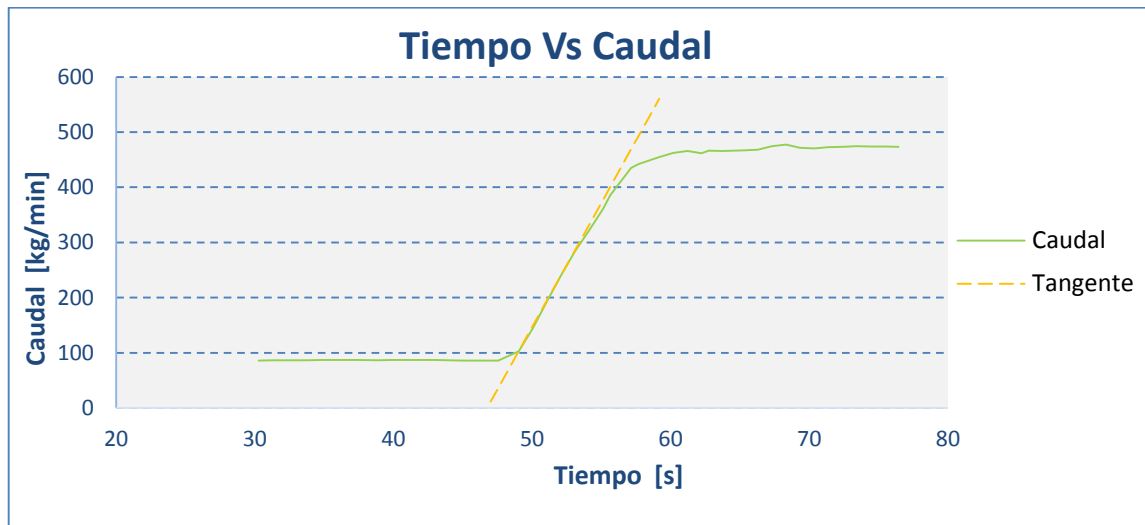
- **Escenario 2:**

**Figura 28.** Diagrama Tiempo vs Frecuencia de la señal tipo escalón para escenario 2.



**Fuente:** Corporación CDT de GAS.

**Figura 29.** Diagrama Tiempo vs caudal de la señal tipo escalón para escenario 2



**Fuente:** Corporación CDT de GAS.

Las constantes obtenidas fueron:

**Tabla 6.** Constantes Obtenidas

	k	Ki	kD
PI	-0,23	0,05	
PID	-	0,10	-0,23

**Fuente:** Corporación CDT de GAS

Este escenario trabaja con caudales más altos que el primero, siendo el caudal más estable. Después de realizar pruebas se decidió utilizar un lazo PID. A prueba y error se sintonizaron las siguientes constantes:

**Tabla 7.** Constantes sintonizadas después de pruebas

P	Í	D
-0,5	0,8	-0,5

**Fuente:** Corporación CDT de GAS

- **Escenario 3:**

Las constantes obtenidas fueron:

**Tabla 8.** Constantes obtenidas

	k	Ki	kD
PI	-0,23	0,05	
PID	-0,31	0,10	-0,23

**Fuente:** Corporación CDT de GAS

Al igual que el escenario dos, en este escenario el caudal es más estable que en el escenario 1. Después de realizar pruebas se decidió utilizar un lazo PID. A prueba y error se sintonizaron las siguientes constantes:

**Tabla 9.** Sintonización de PID a prueba y error

P	I	D
-0,33	0,08	-0,34

**Fuente:** Corporación CDT de GAS

En la siguiente tabla se resumen los valores de las constantes configuradas en cada escenario.

**Tabla 10.** Resumen Constantes

Constantes	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Gain	-2.6	-0.5	-0.33
Tune I	0.4	0.8	0.08
Tune D	-	-0.5	-0.34

**Fuente:** Elaboración Propia

A continuación se expone la segunda etapa de la sintonización, el ajuste por tablas de las constantes de cada escenario.

#### 5.4.2.2 Ajuste por tablas

Estos parámetros están organizados en tablas dentro del sistema de control y son utilizadas a través de una variable auxiliar que depende del escenario de operación del medidor (diámetro del medidor bajo prueba, el patrón seleccionado y la bomba a utilizar para la calibración). Con estos datos se determina el escenario crítico más cercano al cual va a operar el medidor bajo prueba, y las constantes a utilizar en el PID.

### 5.5 IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

OPTO 22 posee varios algoritmos de cálculo para la implementación de un control PID de estos algoritmos, se seleccionó el algoritmo velocidad ya que este presenta mejores características de respuesta para el sistema ante cambios súbitos grandes en el punto de ajuste, además es útil en la supresión de correcciones excesivas en el sistema de control [5].

El algoritmo velocidad presenta las siguientes ecuaciones [3]

$$Span = \frac{Salida\ maxima - Salida\ minima}{Entrada\ maxima - Entrada\ minima}$$

**Ecuación 14.** Determinación de Span

$$Error = Variable\ del\ proceso - Setpoint$$

**Ecuación 15.** Determinación de Error

$$Term\ P = Error - Error\ previo$$

**Ecuación 16**

Dónde:

$$Term\ I = Tune\ I * Tiempo\ de\ muestreo * Error$$

$$Term\ D = \frac{Tune\ D}{Tiempo\ de\ escaneo}$$

$$* (variable\ del\ proceso - 2 * variable\ del\ proceso1 + Variable\ del\ proceso2)$$

$$Cambio\ en\ la\ salida = Ganancia * span * (TermP + TermI + TermD)$$

$$Salida = Chequeo\ de\ salida * (Salida\ previa + Cambio\ en\ la\ salida)$$

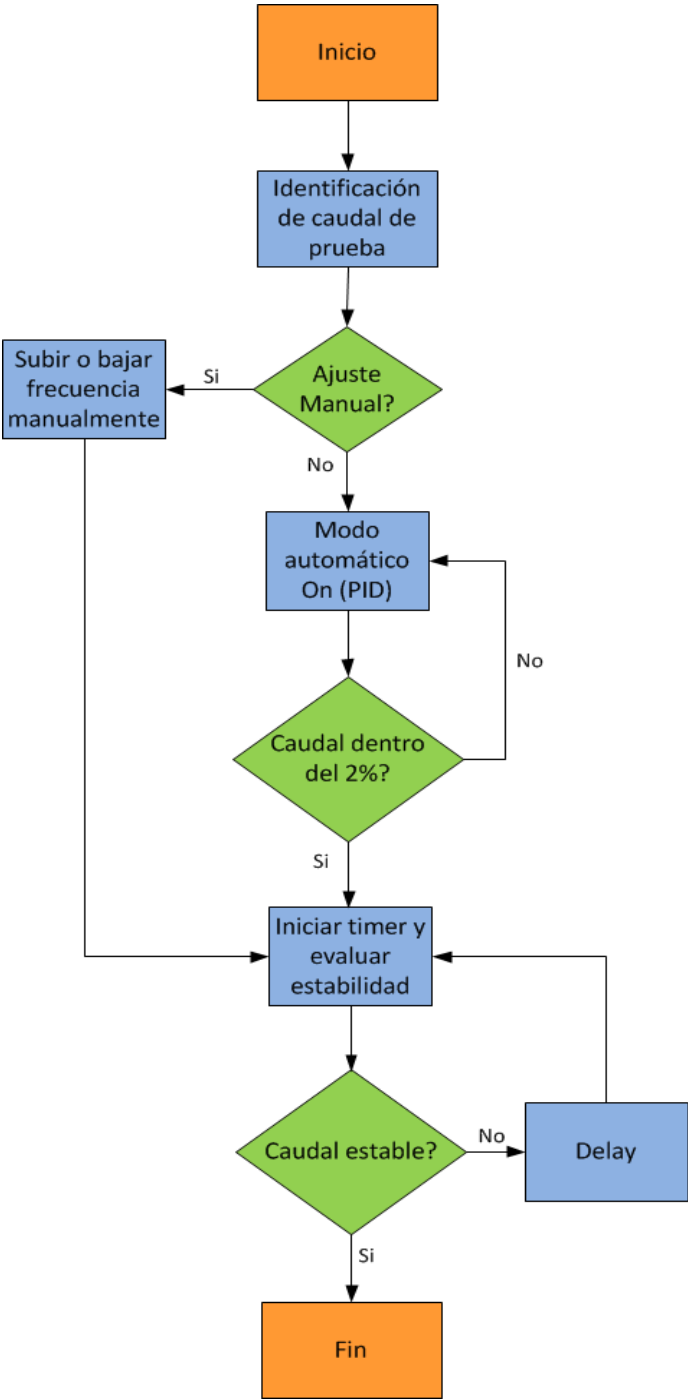
A continuación se presenta el bucle del control de caudal de la estrategia de Aseguramiento Metrológico.

### 5.5.1 Bucle de control de caudal

Finalmente, se configuraron las constantes y la variable auxiliar dentro de la estrategia “Aseguramiento Metrológico”. Cuando se va a realizar la calibración en un nuevo punto, se inicia la rutina (chart) de control de caudal. El operario tiene la opción de realizar ajuste automático a través del PID o de forma manual subiendo o bajando la frecuencia del variador directamente en la HMI a través de botones. Si el ajuste es automático, el primer paso que realiza la rutina es identificar el escenario en el cual se va trabajar de acuerdo a la Tabla 10. Una vez identificado el escenario se cargan las constantes al controlador PID, cuando el caudal del proceso está dentro del  $\pm 2\%$  del caudal de prueba, se procede a evaluar la estabilidad del caudal durante 60 segundos. Si se determina que el caudal ha sido ajustando dentro de los valores esperados, se apaga el PID y se continúan con el proceso de caracterización del diverter. Si por el contrario, el caudal esta fuera de los valores aceptados (2%), pero está dentro del 5% que permite la norma ISO 10790, se da la opción que el operario omita la estabilidad y continúe con el proceso.

En la Siguiete figura se observa el diagrama de flujo utilizado en la estrategia de Aseguramiento Metrológico en el chart denominado Ajuste\_de\_caudal.

Figura 30. Diagrama de flujo del bucle de ajuste de caudal



Fuente: Elaboración Propia

A continuación se presentan pantallas de la HMI del ajuste de caudales en los diferentes escenarios.

### 5.5.2 Resultados del ajuste de caudal

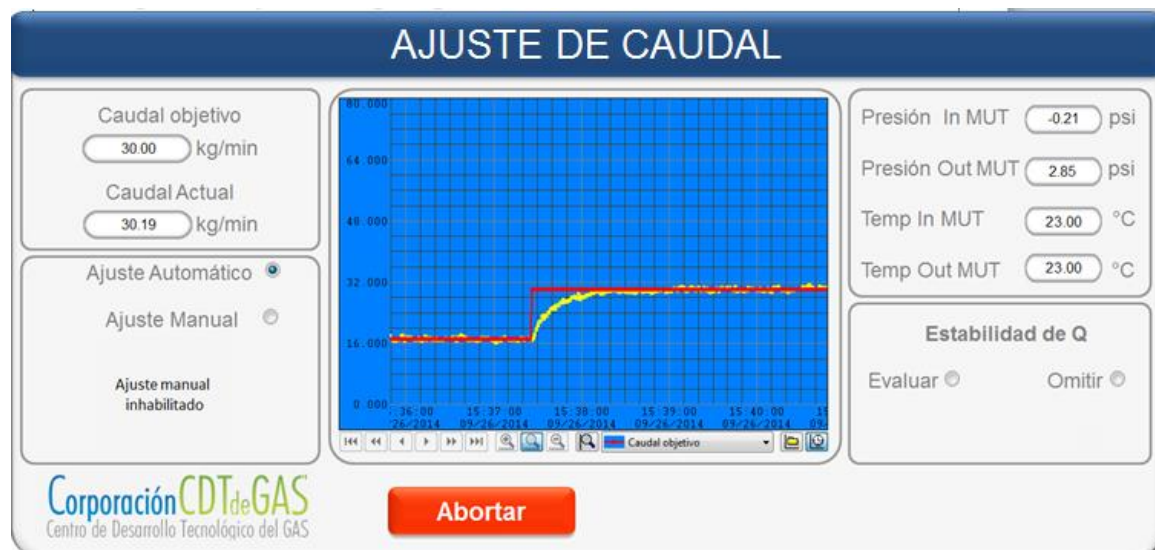
Las siguientes ilustraciones son pantallas tomadas de la ventana “Ajuste de Caudal” de la HMI de Aseguramiento Metrológico. En ellas se puede observar la curva que describe el caudal durante ajustes de caudales en ascenso y descenso. En las gráficas se puede observar:

- El caudal objetivo (set point) está representado por la pluma de color rojo (--)
- El caudal actual (variable del proceso) está representado por la pluma de color amarillo (--).

- **Escenario 1**

#### Llevando la bomba en ascenso

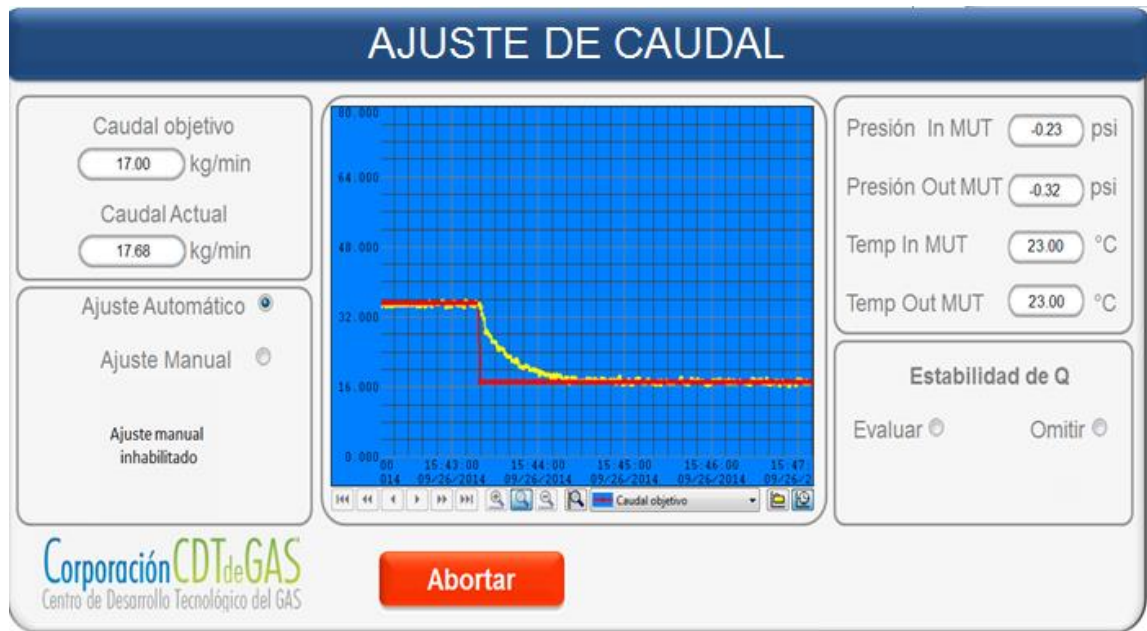
Figura 31. Escenario 1 bomba en ascenso



Fuente: Elaboración Propia en Opto 22.

#### Llevando la bomba en descenso

Figura 32. Escenario 1 bomba en descenso

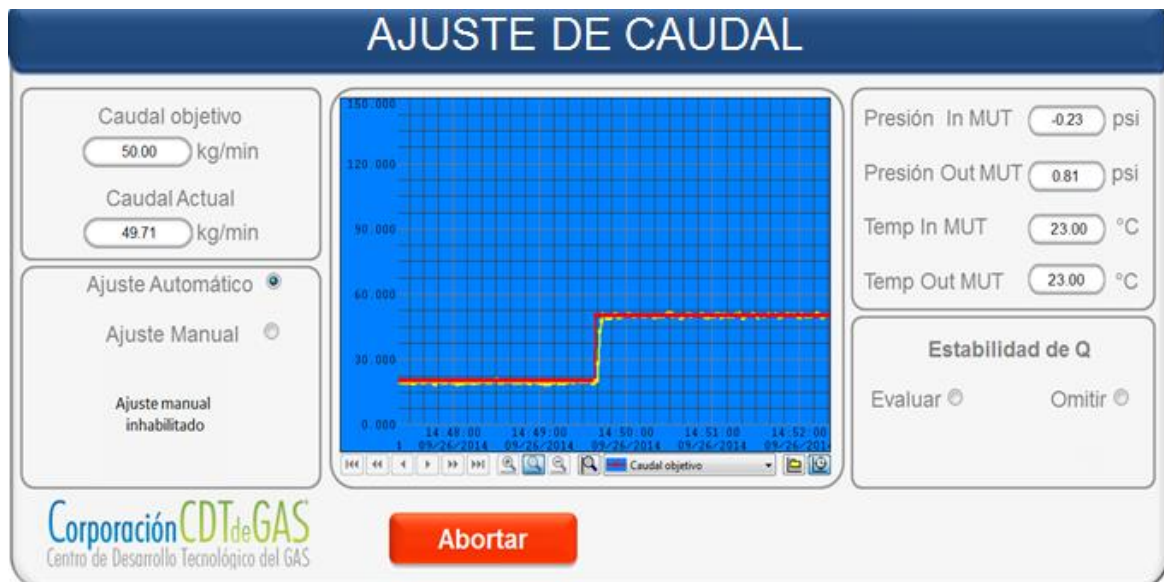


Fuente: Elaboración Propia en Opto 22.

- **Escenario 2**

Llevando la bomba en ascenso

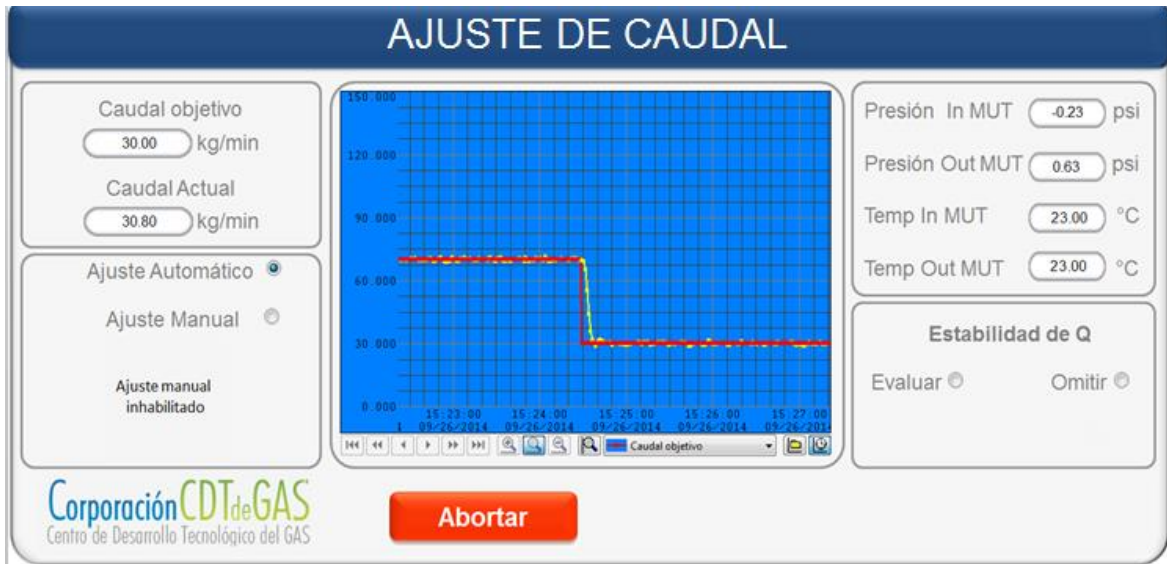
Figura 33. Escenario 2 bomba en ascenso



Fuente: Elaboración Propia en Opto 22.

## Llevando la bomba en Descenso

Figura 34. Escenario 2 bomba en descenso

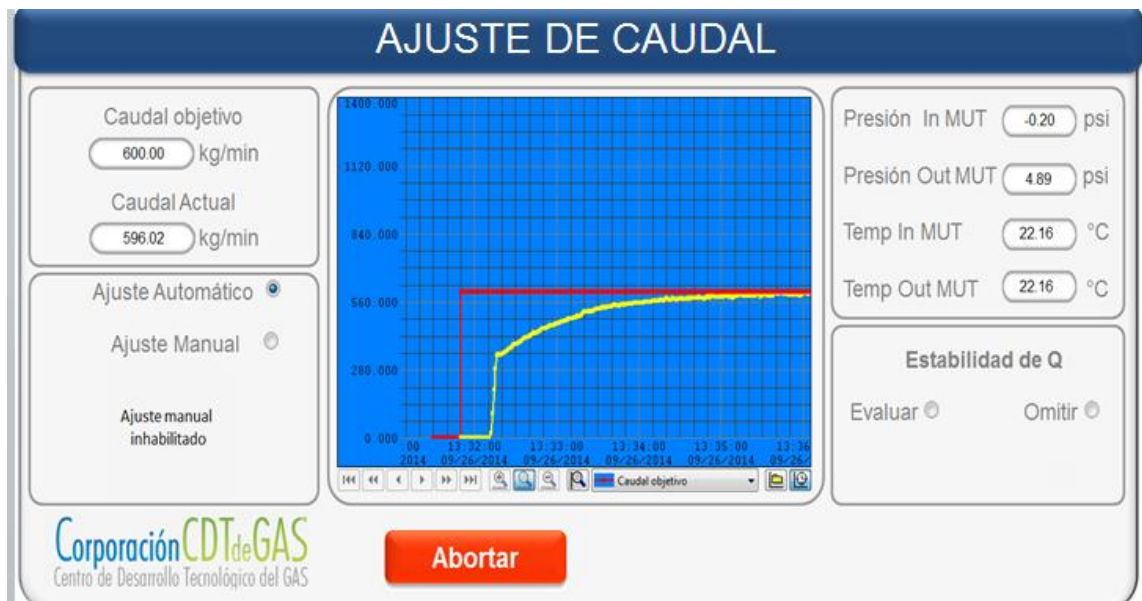


Fuente: Elaboración Propia en Opto 22.

- **Escenario 3**

## Llevando la bomba en ascenso

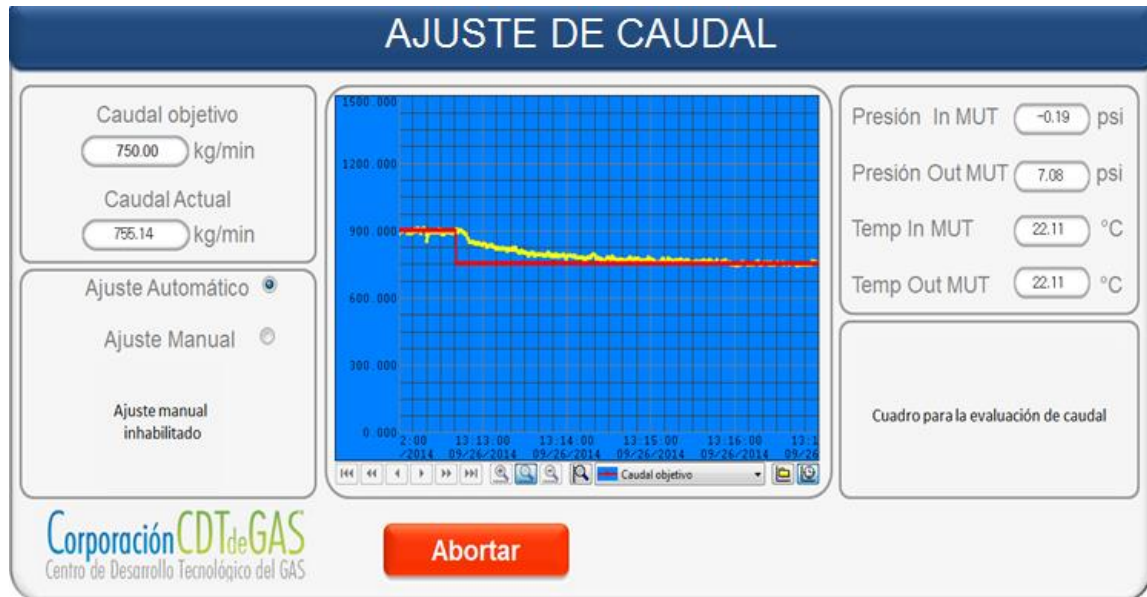
Figura 35. Escenario 3 bomba en ascenso



Fuente: Elaboración Propia en Opto 22.

## Llevando la bomba en descenso

Figura 36. Escenario 3 bomba en descenso



Fuente: Elaboración Propia en Opto 22.

Como se evidencia en cada uno de los escenarios anteriores el controlador cumple con el caudal objetivo ( $\pm 2\%$ ).

### 5.5.3 Tiempo

Al seleccionar tiempo se muestra la pantalla de la Figura 37 en donde se puede visualizar:

- Numero de Pulsos.
- Periodo de señal Patrón.
- Conteo de pulsos.
- Resultados del tiempo medido y el tiempo patrón.

Los valores de número de pulsos y periodo de señal patrón deben ser ingresados por el profesional de calibraciones y ensayos a cargo de la verificación de la prueba.

**Figura 37.** HMI Prueba de Tiempo

Prueba de Tiempo

Verificación Adquisición de Pulsos y Medición de Tiempo

Duración de la prueba

Número de Pulsos

Periodo Señal  Seg

Patrón

Duración de la prueba

Conteo de Pulsos

Resultados

Tiempo Medido  Seg

Tiempo Patrón  Seg

Iniciar

Regresar

Corporación CDT de GAS  
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS

**Fuente:** Elaboración propia en PAC Display de Opto 22.

## 5.6 CHART ESTRATEGIA DE ASEGURAMIENTO METROLÓGICO

La estrategia de aseguramiento metrológico posee diversos charts, los cuales son:

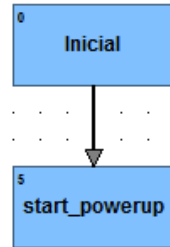
- Inicio
- Powerup
- Variables\_secundarias
- Lectura\_balanzas
- Ajuste\_de\_caudal
- Datos\_diverter
- Prueba\_PID
- Pruebas\_Cdiv
- Tiempo

En cada uno de estos contiene el diagrama de flujo correspondiente a su función, se explicara con más detalle aquellos que son relevantes para la estrategia de aseguramiento metrológico.

### 5.6.1 Inicio

Como se evidencia en la siguiente figura en este chart se encuentra la inicialización de toda la estrategia que se hace a través del botón de Inicio de la HMI principal.

**Figura 38.** Diagrama de flujo del chart Inicio



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Control de Opto22.

## 5.6.2 Powerup

Este es el chart principal, no se puede modificar su nombre y viene por defecto en PAC control de Opto 22, como se observa en la Figura 40, es aquí donde se realiza la selección del instrumento a verificar o calibrar o en su defecto si se desea finalizar el proceso. En el bloque “Elemento a Verificar” se encuentra el siguiente código de la el cual según sea la selección del usuario a través de la HMI envía un número específico a la estrategia el cual pone el estado en “StartChart” de acuerdo al elemento a verificar.

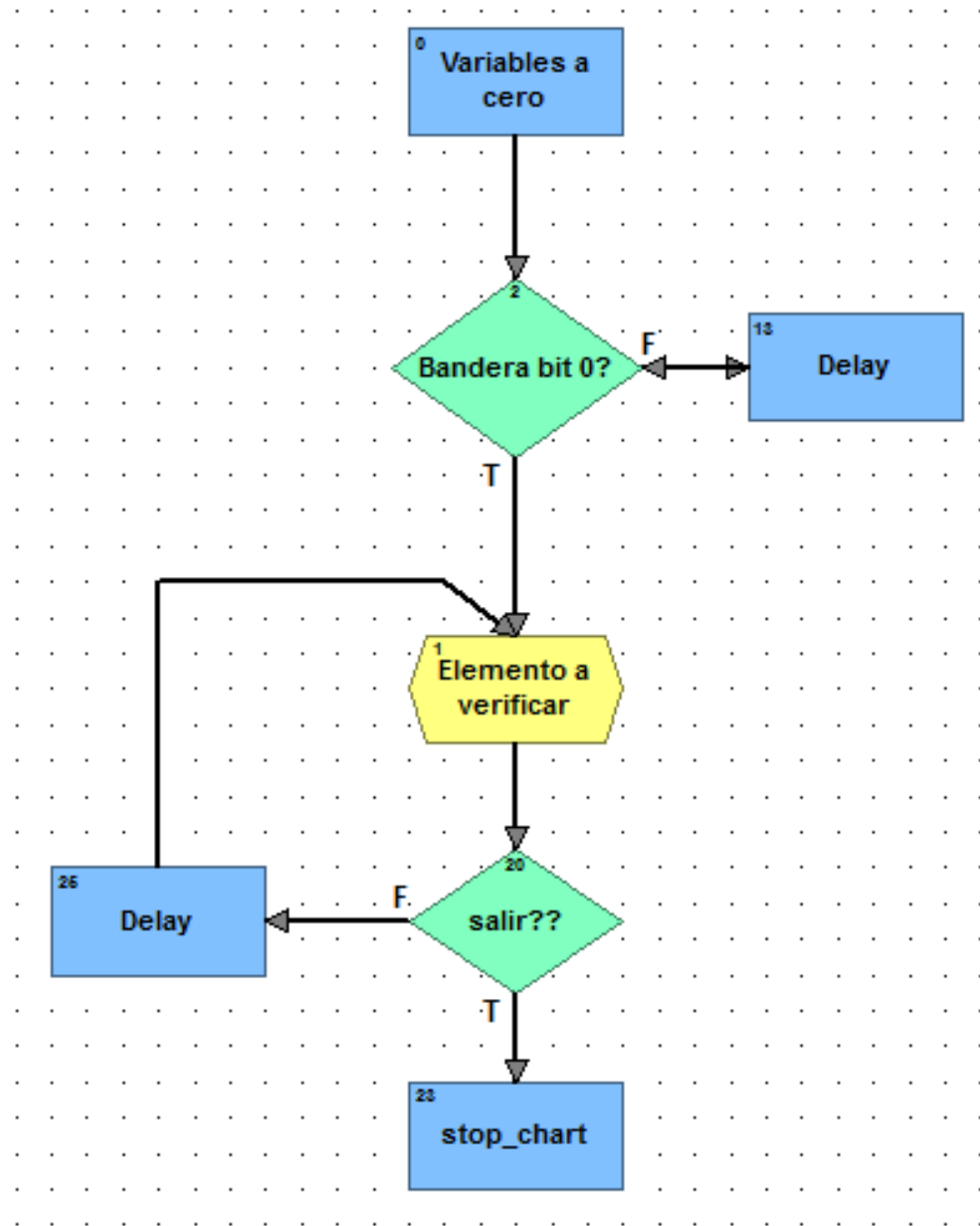
**Figura 39.** Código bloque “Elemento a verificar”

```
OptoScript - seleccion - Elemento a verificar *
switch (seleccionar)
  case 1:
    StartChart(Variables_secundarias);
    break
  case 2:
    StartChart(Variables_secundarias);
    break
  case 3:
    StartChart(Datos_diverter);
    break
```

Captura de pantalla de un editor de código. El título de la ventana es "OptoScript - seleccion - Elemento a verificar \*". El código fuente muestra un switch statement que maneja tres casos basados en la variable "seleccionar". Cada caso llama a "StartChart" con un argumento específico y luego ejecuta "break".

**Fuente:** Elaboración propia en PAC Control de Opto22.

Figura 40. Diagrama de flujo del chart Powerup



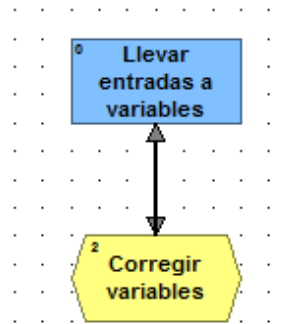
Fuente: Elaboración propia en PAC Control de Opto22.

### 5.6.3 Variables\_secundarias

El chart de Variables\_secundarias corresponde a la selección de temperatura o presión.

En la Figura 41 se puede observar el diagrama de flujo de este chart.

**Figura 41.** Diagrama de flujo del chart Variables\_secundarias



**Fuente:** Elaboración propia en PAC Control de Opto22.

En el primer bloque de la Figura 41, se encuentra el siguiente código de la Figura 42 el cual lleva las variables de entrada (presión, temperatura y humedad) a una tabla llamada “No\_corregidas”.

**Figura 42.** OptoScript del diagrama de flujo “llevar variables de entrada a Variables”

```
OptoScript Code:
No_corregidas [0]=Temperatura_in_MUT;
DelayMsec(5);
No_corregidas [1]=Temperatura_out_MUT;
DelayMsec(5);
No_corregidas [2]=Temperatura_tanque_1;
DelayMsec(5);
No_corregidas [3]=Temperatura_tanque_2;
DelayMsec(5);
No_corregidas [4]=Temperatura_tanque_3;
DelayMsec(5);
No_corregidas [5]=Temperatura_ambiente;
DelayMsec(5);
No_corregidas [6]=Presion_atmosferica;
DelayMsec(5);
No_corregidas [7]=Presion_in_MUT;
DelayMsec(5);
No_corregidas [8]=Presion_salida_MUT;
DelayMsec(5);
No_corregidas [9]=Humedad_relativa;
DelayMsec(5);
```

**Fuente:** Elaboración propia en PAC Control de Opto22.

Para realizar la corrección de las lecturas como se observa en la Figura 43 se creó una tabla llamada “Corregidas” la cual tiene la ecuación  $mx + b$  donde:

- X: Es la lectura del instrumento (transmisor de presión o RTD’s), es decir la tabla “No\_corregidas”.
- m y b: Valores que se ingresan si el transmisor de presión o RTD requiera ajuste, dichos valores se encuentran en una tabla llamada “corrección\_m\_b”.

**Figura 43.** Corrección de lecturas

```
OptoScript Code:
Corregidas[0] = (correccion_m_b[0]* No_corregidas [0]) + correccion_m_b[1];
DelayMsec(5);
Corregidas[1] = (correccion_m_b[2]* No_corregidas [1]) + correccion_m_b[3];
DelayMsec(5);
Corregidas[2] = (correccion_m_b[4]* No_corregidas [2]) + correccion_m_b[5];
DelayMsec(5);
Corregidas[3] = (correccion_m_b[6]* No_corregidas [3]) + correccion_m_b[7];
DelayMsec(5);
Corregidas[4] = (correccion_m_b[8]* No_corregidas [4]) + correccion_m_b[9];
DelayMsec(5);
Corregidas[5] = (correccion_m_b[10]* No_corregidas [5]) + correccion_m_b[11];
DelayMsec(5);
Corregidas[6] = (correccion_m_b[12]* No_corregidas [6]) + correccion_m_b[13];
DelayMsec(5);
Corregidas[7] = (correccion_m_b[14]* No_corregidas [7]) + correccion_m_b[15];
DelayMsec(5);
Corregidas[8] = (correccion_m_b[16]* No_corregidas [8]) + correccion_m_b[17];
DelayMsec(5);
Corregidas[9] = (correccion_m_b[18]* No_corregidas [9]) + correccion_m_b[19];
DelayMsec(5);
```

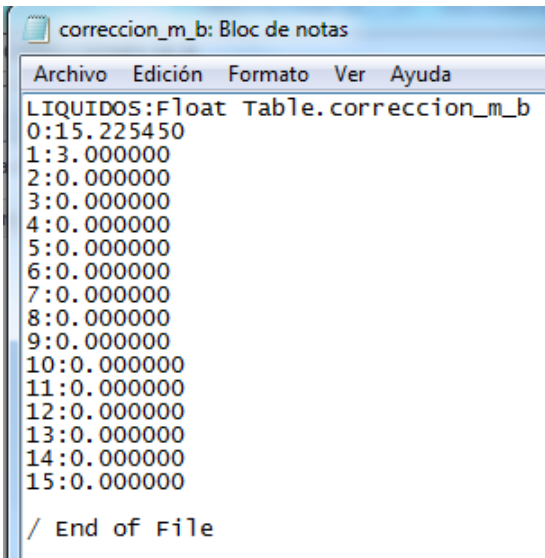
**Fuente:** Elaboración propia en PAC Control de Opto22.

La tabla “corrección\_m\_b” se encuentra en formato txt, como se observa en la Figura 44 en donde la posición par hace referencia a “m” es decir posición [0], [2], [4], etc., y la posición impar hace referencia a “b” es decir posición [1], [3], [5], etc. Dichas constantes se pueden modificar a través de la HMI para el ajuste de alguno de los instrumentos.

### 5.6.4 Ajuste\_de\_caudal

Esta sección de la estrategia de aseguramiento metrológico es la encargada de realizar ajuste de caudal para dar inicio a la prueba del Diverter, la cual se explicó en el numeral 5.2.2.

**Figura 44.** Tabla Corrección m\_b



```
correccion_m_b: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
LIQUIDOS:Float Table.correccion_m_b
0:15.225450
1:3.000000
2:0.000000
3:0.000000
4:0.000000
5:0.000000
6:0.000000
7:0.000000
8:0.000000
9:0.000000
10:0.000000
11:0.000000
12:0.000000
13:0.000000
14:0.000000
15:0.000000
/ End of File
```

**Fuente:** Elaboración propia

## 5.7 EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA MAGNITUD DE PRESIÓN

Se realizó la calibración de los transmisores de presión que se encuentran ubicados aguas arriba y aguas abajo del MUT.

En la

Figura 45 se observa el transmisor de presión utilizado.

**Figura 45.** Transmisor de Presión



**Fuente:** Fotografía tomada en la Corporación CDT de GAS.

La calibración se realizó siguiendo el procedimiento técnico de calibración de instrumentos o sistemas de medición de presión denominado PTC - 024 de la Corporación CDT de GAS el cual menciona<sup>16</sup>:

### 5.7.1 Método de calibración

El método utilizado es denominado de “comparación directa”, y consiste en la comparación de las lecturas del instrumento bajo calibración, contra las lecturas del patrón utilizado, conectado a una misma fuente de generación de presión, garantizando la hermeticidad del sistema.

### 5.7.2 Elementos para la generación de presión

En la calibración de instrumentos o sistemas de medición de presión se debe emplear un elemento que permita generar el nivel de presión adecuado para el proceso, y así transmitirlo a los diferentes elementos durante la calibración. El alcance para la generación depende del fluido empleado para transmitir la presión.

Como regla general, para instrumentos que operan entre 0 y 2750 kPa normalmente se utilizan sistema de generación de presión neumáticos, para instrumento que operan por encima del intervalo anterior, comúnmente se utilizan sistemas de generación de presión hidráulicos.

En este caso el elemento generador de presión fue una bomba neumática, como se puede ver en la siguiente figura.

**Figura 46.** Bomba de Presión Neumática



<sup>16</sup> PTC-024(procedimiento técnico de calibración de instrumentos o sistemas de medición de presión) Documento suministrado por la Corporación CDT de GAS.

**Fuente:** Fotografía tomada de la Corporación CDT de GAS.

### 5.7.3 Seleccionar el patrón adecuado para la calibración

Seleccionar el patrón de calibración adecuado teniendo en cuenta los aspectos:

- a. Exactitud requerida en el proceso. Como regla preferencial se optará que al menos, la incertidumbre del resultado del patrón, sea dos veces menor que el error máximo permisible del instrumento bajo ensayo. En algunos casos, en consenso con el cliente podrá aceptarse como máximo, que la incertidumbre del resultado del patrón y los límites de errores máximo permisibles del instrumento sean iguales. Los valores deben ser comparados en unidades de presión.
- b. Intervalo de medida. Se debe garantizar que el intervalo del patrón cubra el intervalo de medida del instrumento bajo calibración. El patrón seleccionado, en lo posible deberá utilizarse dentro del 10% al 100% del intervalo de medición. Para casos especiales de calibración fuera de este alcance, se podría proponer utilizarlo dentro del 5% a 100% de su intervalo.

El patrón seleccionado fue el PL-167 que se muestra en la Figura 47.

**Figura 47.** Patrón PL-167



**Fuente:** Fotografía tomada en la Corporación CDT de GAS

### 5.7.4 Definir los puntos de calibración

Seleccionar los puntos mínimos a calibrar de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 11.** Puntos de Calibración

Clasificación	Mínimo número de puntos a calibrar
Clase de exactitud $\leq 0,5 \%$	8
$0.5\% < \text{Clase de exactitud} \leq 2\%$	5
Clase de Exactitud $> 2 \%$	3
In Situ	5

**Fuente:** Procedimiento PTC-024 de la Corporación CDT de GAS

La clase de los transmisores de presión según el fabricante es de 0.25%FS por ende se seleccionaron 8 puntos para la calibración.

### 5.7.5 Secuencia de calibración

Definir la secuencia de calibración con la siguiente tabla:

**Tabla 12.** Secuencia de Calibración

Clasificación	Secuencia de calibración
Clase de exactitud $\leq 0,5 \%$	Asc-Desc-Asc
Clase de exactitud $> 0.5\%$	Asc-Desc
In Situ	Asc-Desc

**Fuente:** Procedimiento PTC-024 de la Corporación CDT de GAS

Según la clase de los transmisores de presión la secuencia de calibración es Asc-Desc-Asc

### 5.7.6 Calibración

Se realizó la calibración de los transmisores de presión y a través de la HMI del aseguramiento metrológico de presión se visualizó la indicación de los instrumentos, como se observa en la

Figura 48.

**Figura 48.** Montaje de Calibración



**Fuente:** Fotografía tomada en la Corporación CDT de GAS

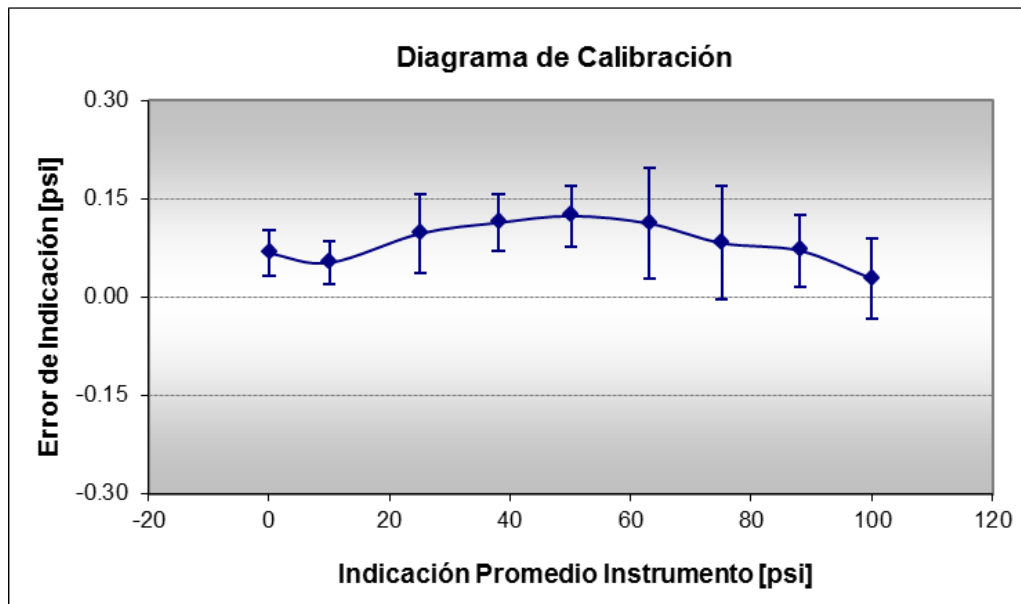
Una vez realizada la calibración, se analizaron los resultados y esto fue lo que se obtuvo:

### **5.7.7 Resultados PL-210**

En la Figura 49 se observa los resultados obtenidos del transmisor de presión identificado como PL-210, donde se evidencia el error en la indicación, incertidumbre entre otros parámetros, además de una gráfica de error contra indicación para tener una mejor visualización del proceso.

**Figura 49.** Resultados PL-210

Indicación Patrón	Indicación del Instrumento				Error de Indicación Prom	Repet.	Hist.	U
	Prom	Asc	Desc	Asc				
[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]
0.00	0.075	0.075	0.030	0.064	0.067	0.045	0.000	0.035
10.00	10.035	10.075	10.030	10.054	0.053	0.005	0.040	0.033
25.00	25.050	25.135	25.085	25.101	0.097	0.045	0.085	0.060
38.00	38.080	38.145	38.085	38.114	0.114	0.005	0.065	0.044
50.01	50.110	50.175	50.085	50.136	0.124	0.025	0.065	0.046
63.01	63.045	63.205	63.020	63.119	0.112	0.055	0.130	0.085
75.01	75.020	75.164	75.030	75.095	0.083	0.020	0.144	0.087
88.01	88.030	88.125	88.050	88.083	0.071	0.010	0.085	0.054
100.01	100.015	100.095	99.950	100.039	0.028	0.055	0.080	0.061
Análisis de Resultados								
Máximo Error de Indicación [%]								0.74
Máximo Error de Indicación [psi]								0.191
Máximo Error %FS*								0.20



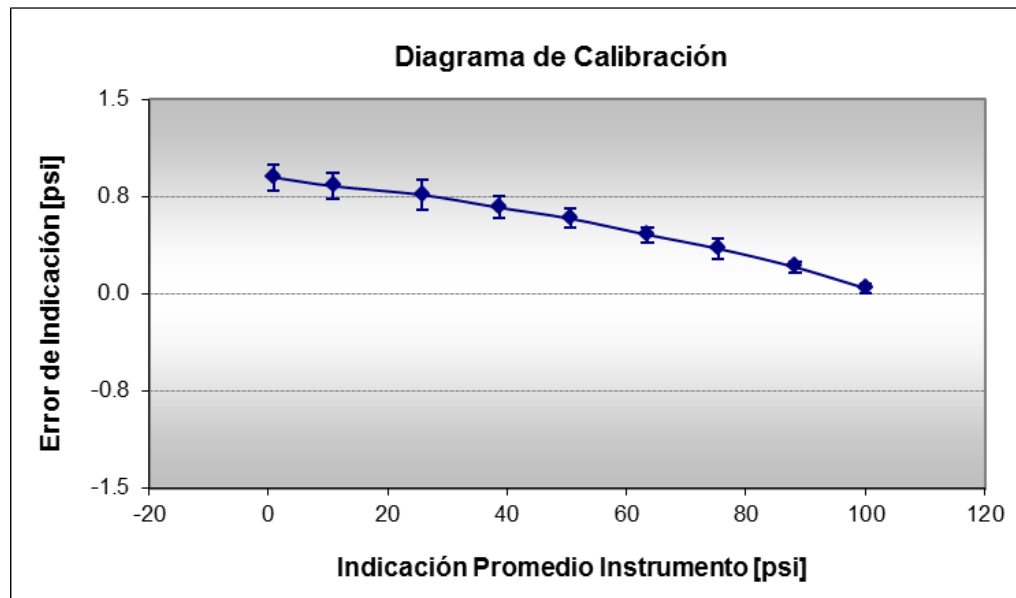
**Fuente:** Análisis de datos en la plantilla de presión de la Corporación CDT de GAS

### 5.7.8 Resultados PL-211

En la Figura 50 se observa los resultados obtenidos del transmisor de presión identificado como PL-211, donde se evidencia el error en la indicación, incertidumbre entre otros parámetros, además de una gráfica de error contra indicación para tener una mejor visualización del proceso.

**Figura 50.** Resultados PL-211

Indicación Patrón	Indicación del Instrumento				Error de Indicación Prom	Repet.	Hist.	U
	Prom	Asc	Desc	Prom				
	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]				
0.00	0.800	0.960	0.880	0.900	0.898	0.080	0.150	0.101
10.00	10.740	10.890	10.810	10.833	0.831	0.070	0.150	0.098
25.01	25.660	25.850	25.720	25.770	0.763	0.060	0.190	0.117
38.01	38.600	38.740	38.620	38.675	0.665	0.020	0.140	0.085
50.01	50.530	50.650	50.540	50.593	0.580	0.010	0.120	0.073
63.01	63.430	63.520	63.410	63.470	0.456	0.020	0.090	0.058
75.01	75.290	75.410	75.340	75.363	0.348	0.050	0.120	0.078
88.01	88.200	88.250	88.180	88.220	0.206	0.020	0.050	0.039
100.01	100.040	100.080	100.020	100.055	0.042	0.020	0.040	0.034
Análisis de Resultados								
Máximo Error de Indicación [%]							8.89	
Máximo Error de Indicación [psi]							0.953	
Máximo Error %FS*							1.00	



**Fuente:** Análisis de datos en la plantilla de presión de la Corporación CDT de GAS

Como se observa en los resultados obtenidos el máximo error %FS supera los errores máximos permisibles el cual es de 0,25%FS, por ende se debe realizar ajuste y determinar la ecuación y las constantes m y b que se deben ingresar en la HMI del aseguramiento metrológico de la magnitud de presión.

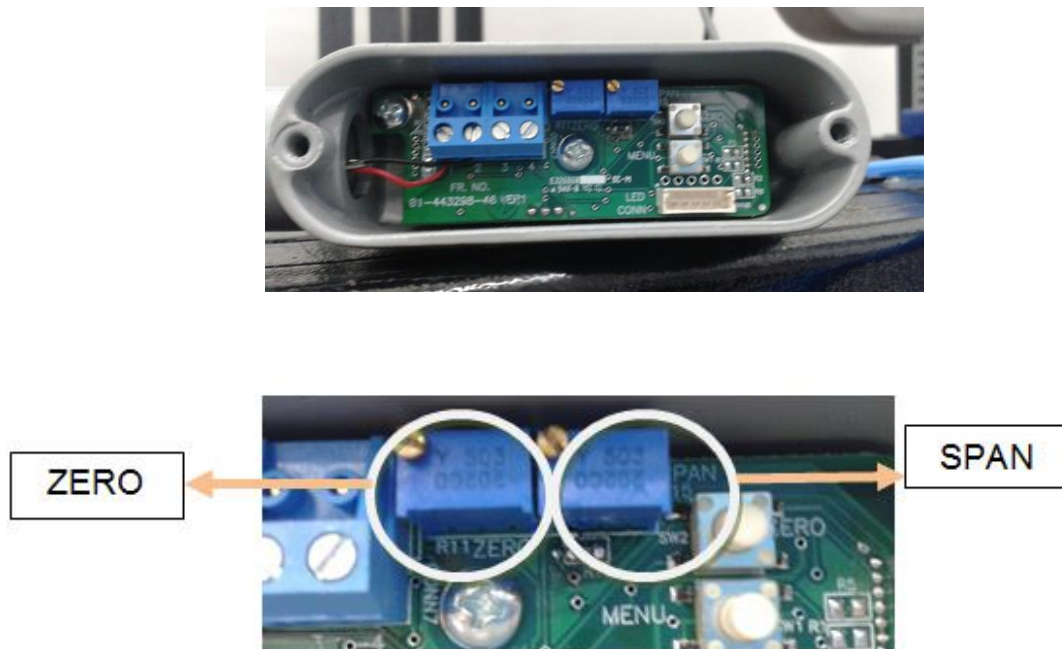
En el anexo A se explica claramente las constantes de corrección (m, b).

### 5.7.9 Ajuste de los transmisores de presión del banco de Volumen y caudal de líquidos

A continuación se explicara el proceso de ajuste de los transmisores de presión:

1. Se mejoró el valor de zero y span con ayuda de los dos trimer que posee internamente el transmisor de presión como se muestra en la Figura 51.

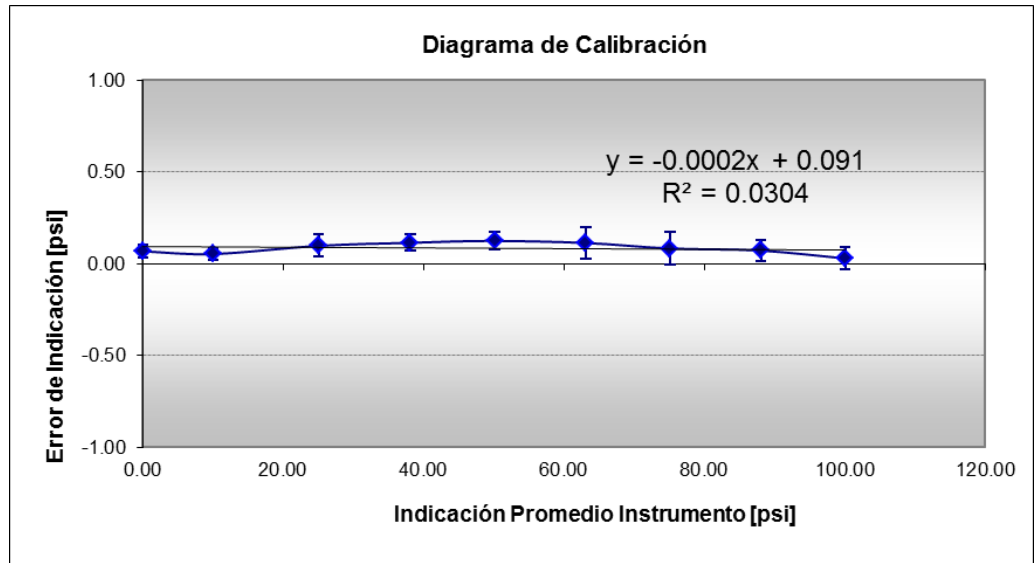
**Figura 51.** Transmisores de Presión



**Fuente:** Fotografías tomadas en la Corporación CDT de GAS

Al modificar el cero y el span se comprobó que los transmisores de presión se encontraban fuera de clase por tal motivo se realizó el ajuste por regresión lineal para determinar la ecuación de la recta y las constantes “m” y “b”. En la Figura 52 y Figura 54 se observa la ecuación de la recta obtenida a través de la regresión lineal.

**Figura 52.** Regresión lineal PL-210



**Fuente:** Análisis de datos en la plantilla de presión de la Corporación CDT de GAS.

- **Cálculo para determinar m y b**

Según la gráfica anterior se puede decir:

Y = Error

X = Indicación\_instrumento

$$error = Indicación_{instrumento} - Patrón$$

Dónde:

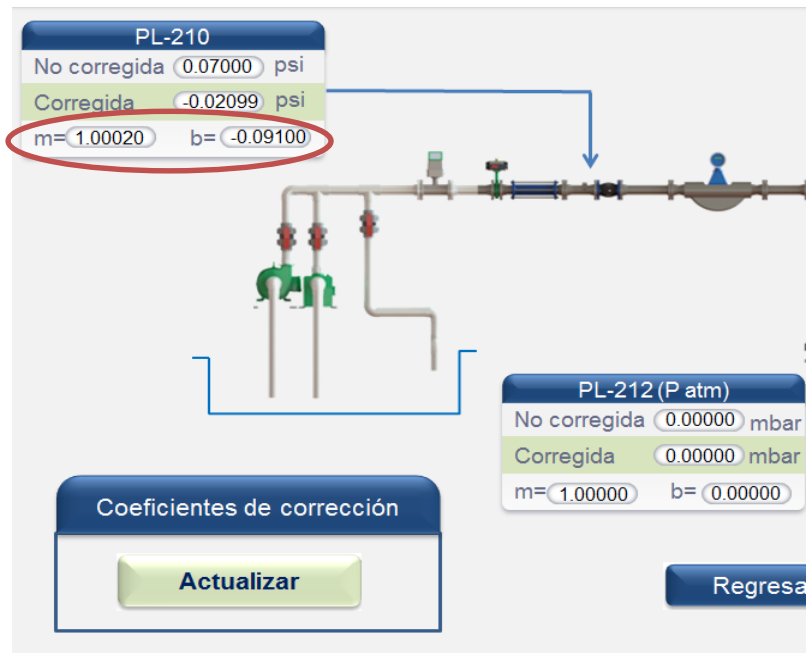
- $error : -0,0002X + 0,091$
- $Indicación_{instrumento} : X$
- $Patrón : Valor_{corregido} (V_c)$

Entonces:

$$\begin{aligned}
 -0,0002 + 0,091 &= X - V_c \\
 V_c &= X (1 + 0,0002) - 0,091 \\
 V_c &= 1,0002X - 0,091
 \end{aligned}$$

Para el PL-210 las constantes de “m” y “b” se ingresan a la HMI como se muestra a continuación para realizar el respectivo ajuste y repetir la calibración.

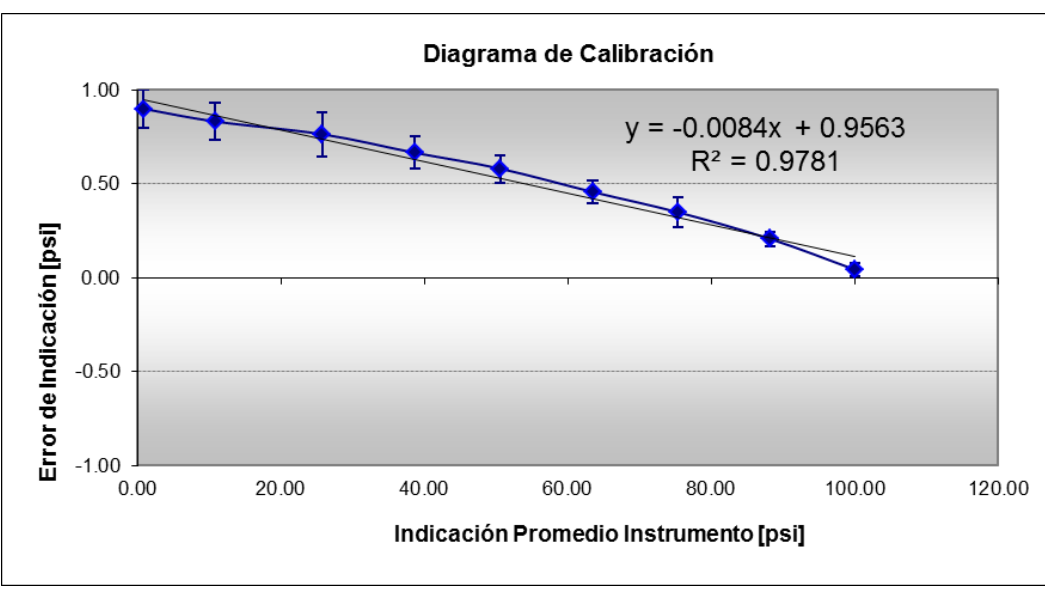
**Figura 53.**Constantes m y b



Fuente: Tomada de HMI Aseguramiento metrológico elaboración propia.

En la Figura 54 se observa la ecuación de la recta obtenida a través de la regresión lineal.

Figura 54. Regresión lineal PL-211



**Fuente:** Análisis de datos en la plantilla de presión de la Corporación CDT de GAS.

- **Calculo para determinar m y b**

Según la gráfica anterior se puede decir:

Y = Error

X = Indicación\_instrumento

$$error = Indicación_{instrumento} - Patrón$$

Dónde:

- *error* :  $-0,0084X + 0,9563$
- *Indicación<sub>instrumento</sub>*: X
- *Patrón*: *Valor<sub>corregido</sub>* ( $V_c$ )

Entonces:

$$-0,0084 + 0,9563 = X - V_c$$

$$V_c = X (1 + 0,0084) - 0,9563$$

$$V_c = 1,0084X - 0,9563$$

Para el PL-211 las constantes de “m” y “b” se ingresan a la HMI como se muestra a continuación para realizar el respectivo ajuste y repetir la calibración.

**Figura 55.** Constantes m y b

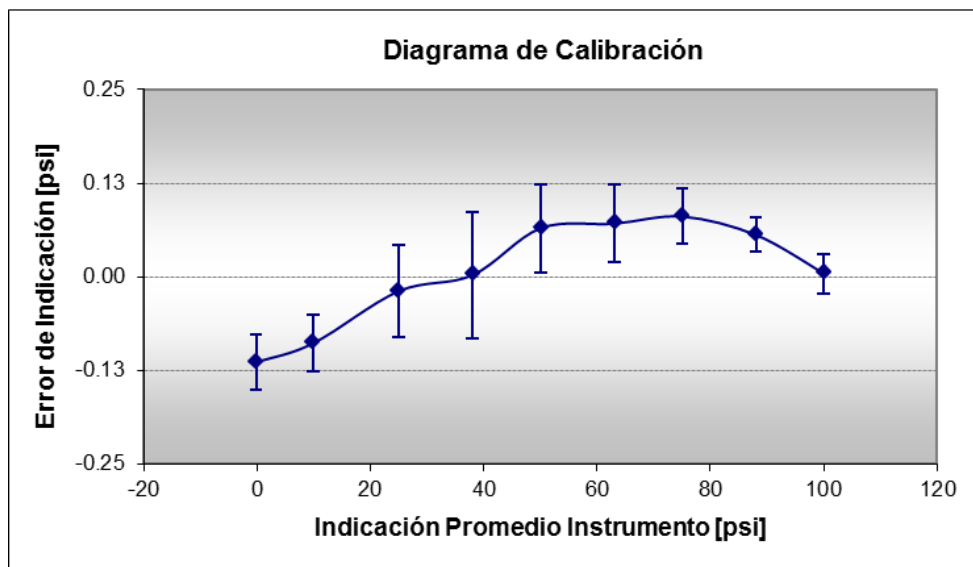


**Fuente:** Tomada de HMI Aseguramiento metrológico elaboración propia.

2. Se llevó a cabo la calibración con el ajuste realizado y se obtuvieron los siguientes resultados que se evidencian en las siguientes figuras:

**Figura 56.** Resultados PL-210

Indicación Patrón	Indicación del Instrumento				Error de Indicación	Repet.	Hist.	U
Prom	Asc	Desc	Asc	Prom	Prom			
[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]
-0.01	-0.100	-0.120	-0.150	-0.123	-0.114	0.050	0.010	0.037
10.00	9.920	9.930	9.870	9.913	-0.089	0.050	0.010	0.037
25.01	24.970	25.040	24.900	24.988	-0.019	0.070	0.070	0.062
38.01	37.940	38.080	37.950	38.013	0.002	0.010	0.140	0.084
50.01	50.050	50.130	50.000	50.078	0.065	0.050	0.080	0.059
63.01	63.060	63.130	63.020	63.085	0.071	0.040	0.070	0.052
75.01	75.120	75.090	75.080	75.095	0.081	0.040	0.030	0.037
88.01	88.070	88.070	88.070	88.070	0.056	0.000	0.000	0.023
100.01	100.010	100.030	100.000	100.018	0.004	0.010	0.020	0.026
Análisis de Resultados								
Máximo Error de Indicación [%]							1.31	
Máximo Error de Indicación [psi]							0.147	
Máximo Error %FS*							0.15	

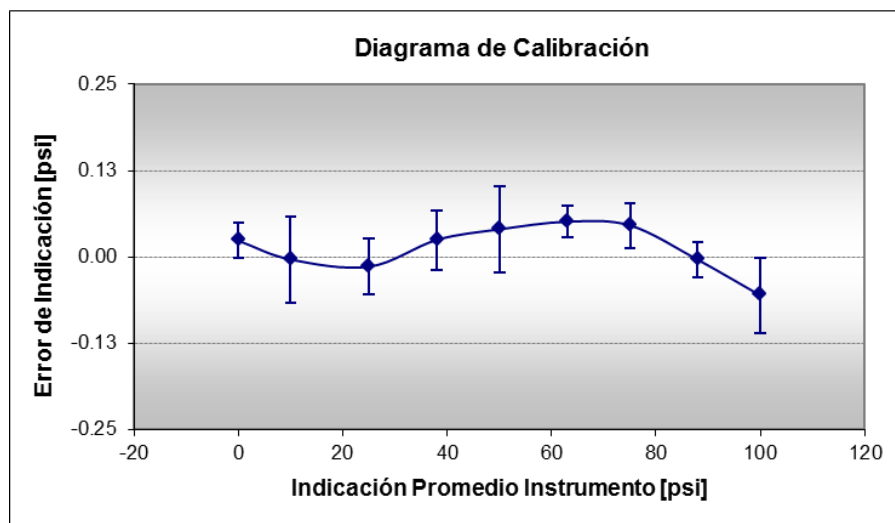


**Fuente:** Análisis de datos en la plantilla de presión de la Corporación CDT de GAS

Con los resultados obtenidos se mejoró la curva de calibración y el error máximo en %FS se encuentra dentro de los errores máximos permisibles.

**Figura 57. Resultados PL-211**

Indicación Patrón	Indicación del Instrumento				Error de Indicación Prom	Repet.	Hist.	U
	Prom	Asc	Desc	Prom				
[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]	[psi]
0.00	0.030	0.020	0.030	0.025	0.023	0.000	0.020	0.026
10.00	9.950	10.050	9.940	9.998	-0.004	0.010	0.100	0.062
25.01	24.960	25.010	24.990	24.993	-0.014	0.030	0.050	0.041
38.01	38.000	38.060	38.020	38.035	0.025	0.020	0.060	0.043
50.01	50.000	50.100	50.010	50.053	0.040	0.010	0.100	0.062
63.01	63.060	63.070	63.060	63.065	0.051	0.000	0.010	0.024
75.01	75.040	75.080	75.040	75.060	0.046	0.000	0.040	0.032
88.01	88.000	88.020	88.000	88.010	-0.004	0.000	0.020	0.026
100.01	100.000	99.950	99.930	99.958	-0.056	0.070	0.050	0.055
Análisis de Resultados								
Máximo Error de Indicación [%]								0.61
Máximo Error de Indicación [psi]								0.088
Máximo Error %FS*								0.11



**Fuente:** Análisis de datos en la plantilla de presión de la Corporación CDT de GAS

Con los resultados obtenidos se mejoró la curva de calibración y el error máximo en %FS se encuentra dentro de los errores máximos permisibles.

Ahora se debe fijar estas constantes acusando en el botón actualizar, el cual pregunta: ¿Está seguro de realizar el cambio de los coeficientes?, Como se observa en la Figura 58, ya que se analizaron los datos y los instrumentos se encuentra dentro de clase se acusa en el botón actualizar, el cual carga inmediatamente las constantes de corrección en archivo txt, garantizando la confiabilidad en la mediciones emitidas por el transmisor de presión.

**Figura 58. Actualizar constantes**



**Fuente:** Tomada de HMI Aseguramiento metrológico elaboración propia.

## 5.8 EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA LA MAGNITUD DE TEMPERATURA

Se realizó la calibración a la RTD identificada como TL-156, La calibración se realizó siguiendo el procedimiento técnico de calibración de instrumentos o sistemas de medición de temperatura denominado PTC - 020 de la Corporación CDT de GAS el cual menciona<sup>17</sup>:

### 5.8.1 Método de calibración

El método de calibración utilizado es denominado comparación directa, se basa en la comparación entre la temperatura indicada en el instrumento o sistema de medición bajo prueba y la temperatura indicada en el patrón, sumergidos en un medio isoterma.

### 5.8.2 Selección del Patrón

El laboratorio de Termometría cuenta con una serie de patrones de referencia y patrones de trabajo calibrados en diferentes intervalos, con diferente exactitud, que

<sup>17</sup> PTC-020(procedimiento técnico de calibración de instrumentos o sistemas de medición de temperatura) Documento suministrado por la Corporación CDT de GAS.

pueden ser seleccionados para realizar la prestación de los servicios, cada uno de ellos se encuentran listados en la herramienta digital de aseguramiento metrológico.

El patrón debe tener una incertidumbre de calibración menor a la incertidumbre requerida para el proceso. Se podrá utilizar uno o más patrones con el fin de cubrir el intervalo de calibración.

El patrón seleccionado fue el TL-097 con EL-017 como indicador el cual se puede observar en la Figura 59.

### 5.8.3 Selección del Medio de Generación de Temperatura

De igual manera, el laboratorio de Termometría cuenta con una serie de medios isotermos usados para la generación de temperatura en diferentes intervalos (bloques secos, baños líquidos, hornos, cámara de enfriamiento), para este caso se utilizó un bloque seco como medio de generación el cual se puede observar en Figura 60.

**Figura 59.** RTD patrón TL-097



**Fuente:** Fotografía tomada en Corporación CDT de GAS

**Figura 60.** Medio de Generación (Bloque seco)



**Fuente:** Tomado en línea << <http://www.reles.com.pe/catalogo/isotech/images/i05.jpg>>>

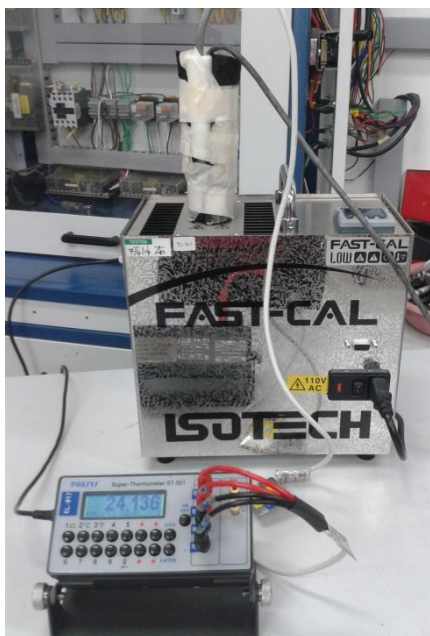
#### 5.8.4 Montaje e Instalación

Durante el montaje e instalación de los elementos de temperatura es importante tener en cuenta las siguientes prácticas metrológicas:

- Verificar el suministro de alimentación (tierra eléctrica).
- Aislar los sensores, de los efectos de condiciones ambientales.
- Realizar el montaje adecuado de los elementos a calibrar (Instrumento y patrón).

La sonda bajo calibración se coloca cerca del termómetro de referencia; varias sondas pueden ser calibradas a la vez, ellas se podrán mantener en contacto mediante, elementos conductores como es el caso de un alambre de cobre. El montaje realizado para la calibración de la RTD se puede observar en Figura 61.

**Figura 61.** Montaje calibración para RTD TL-156



**Fuente:** Fotografía tomada en Corporación CDT de GAS

### 5.8.5 Puntos de Calibración

Los puntos de calibración pueden seleccionarse teniendo en cuenta las necesidades del cliente o usuario, o de acuerdo al intervalo de operación del elemento, buscando siempre una distribución uniforme. Se deben tomar mínimo tres (3) puntos de calibración, con el objeto de obtener una función polinómica de al menos grado dos, para realizar correcciones.

El intervalo de calibración fue de 18 °C a 24 °C ya que en estos valores opera la RTD en el banco gravimétrico de líquidos, distribuidos en 4 puntos.

### 5.8.6 Secuencia de Calibración

Antes de dar inicio al proceso de calibración se debe definir la secuencia de calibración (Ascenso o Descenso) basándose principalmente en las buenas prácticas de operación de los equipos dadas por los fabricantes y recomendaciones en referencias técnicas.

En calibraciones con bloque seco (intervalo desde -20°C a 140°C), es recomendable utilizar la secuencia en descenso, para evitar errores de medición por la presencia de residuos de agua, que se presentan a partir del cambio de estado sólido (condensación)-líquido, al evaluar desde temperaturas negativas a positivas.<sup>18</sup>

### 5.8.7 Puesta en marcha

Una vez pasado el tiempo de calentamiento de los instrumentos, se procede a definir el primer punto de calibración. Realizar la configuración de unidades de acuerdo a la necesidad del cliente o al sistema configurado en el instrumento bajo prueba.

### 5.8.8 Resultados

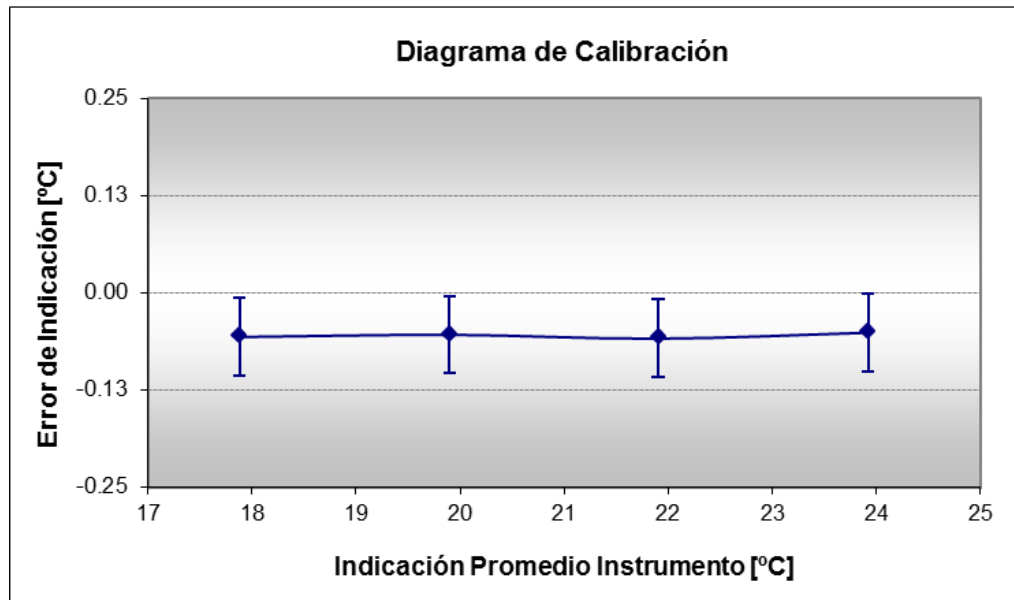
Los resultados obtenidos durante el proceso de calibración son analizados mediante la plantilla de cálculo “5.1 – Temperatura.xlsm” de la Corporación CDT de GAS. Cuando el análisis de los resultados es satisfactorio es decir que no se requieran de repeticiones o ajustes, se finaliza el proceso de calibración y se genera el certificado de calibración.

En la Figura 62 se pueden observar los resultados obtenidos.

**Figura 62.** Resultados de Calibración RTD TL-156

Indicación Promedio Instrumento	Error de Indicación	Incertidumbre
[°C]	[°C]	[°C]
17.88	-0.06	0.05
19.90	-0.05	0.05
21.90	-0.06	0.05
23.92	-0.05	0.05

<sup>18</sup> PRESYS: Manual Baño Térmico Tipo Bloque Seco T-25N



**Fuente:** Plantilla Corporación CDT de GAS

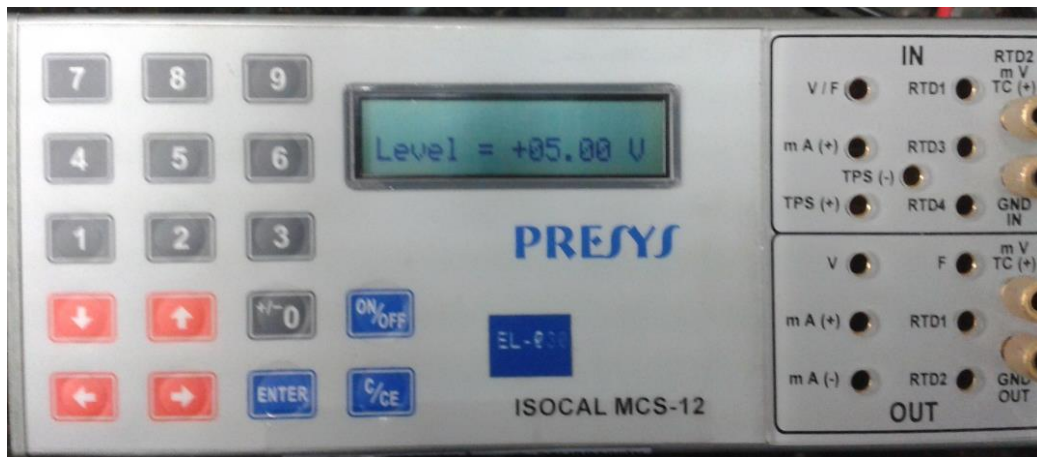
La RTD se encuentra dentro clase por ende no necesita de realizar ajuste.

## 5.9 EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA TIEMPO

La realización de la prueba de tiempo se realiza con el fin de verificar el reloj interno de Opto comparándola con un equipo patrón como se mencionó en la sección 5.5.3 Tiempo, a continuación se listan los pasos de dicha prueba:

- Generar un tren de pulsos con valor de frecuencia como se observa en Figura 63, en este caso 1Hz, con un nivel de tensión de 5V.

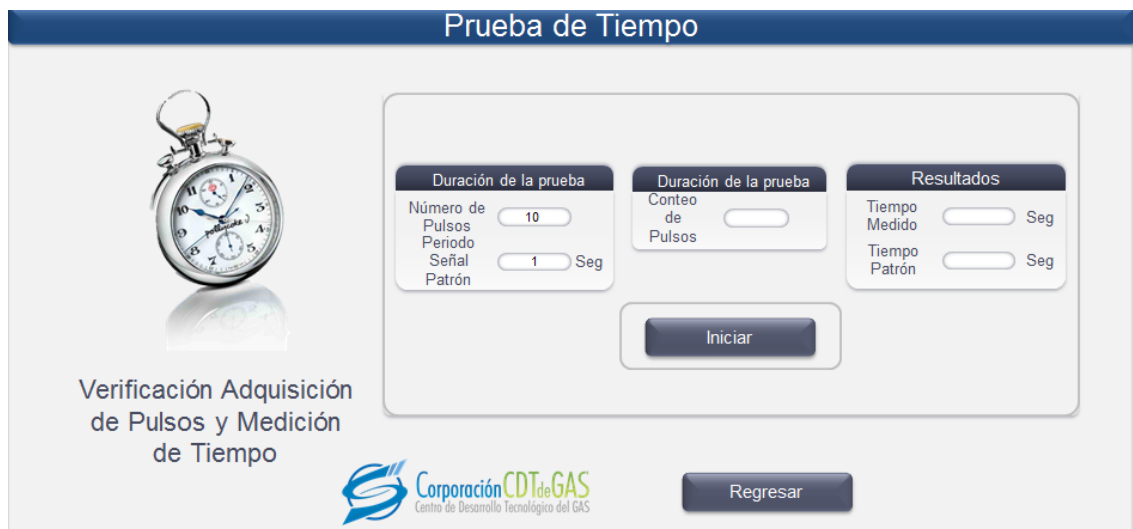
**Figura 63.** Generar una frecuencia de 1Hz con un nivel de tensión de 5V con el EL-030.



**Fuente:** Fotografía tomada en Corporación CDT de GAS

- Se debe ingresar el valor de número de pulsos que se desean y Periodo de señal patrón (1/frecuencia) como se observa en Figura 64, en este caso el número de pulsos es 10 y el periodo de la señal es de 1segundo.

**Figura 64.** HMI Prueba Tiempo



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22

- Conectar la salida de pulsos al panel MUT como una señal activa, así como se observa en la Figura 65.

**Figura 65.** Conexión al panel MUT



**Fuente:** Fotografía tomada en Corporación CDT de GAS

- Una vez realizado el paso anterior se debe acusar en el botón iniciar de la HMI de Tiempo, allí se podrá observar el conteo de pulsos que realiza Opto 22 como se muestra en la Figura 66.

**Figura 66.** Inicio Prueba de Tiempo

Prueba de Tiempo

Verificación Adquisición de Pulsos y Medición de Tiempo

Duración de la prueba		Duración de la prueba		Resultados	
Número de Pulsos	10	Conteo de Pulsos	3	Tiempo Medido	Seg
Periodo Señal Patrón	1 Seg			Tiempo Patrón	Seg

Iniciar

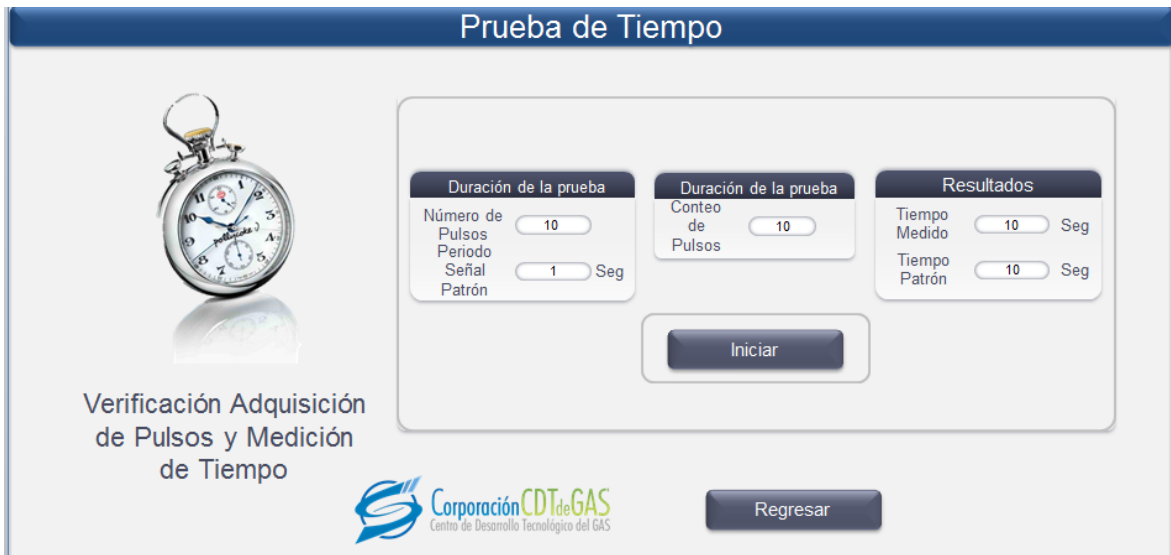
Regresar

Corporación CDT de GAS  
Centro de Desarrollo Tecnológico del GAS

**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22

- Al finalizar el conteo de pulsos se podrá observar los resultados obtenidos en el tiempo medido y tiempo patrón como se muestra a continuación.

**Figura 67.** Finalización Prueba tiempo



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22

Como se evidencia en la Figura anterior se puede observar que el tiempo medido y el tiempo patrón son iguales lo que significa que el reloj de Opto 22 está funcionando correctamente.

## 5.10 EJECUCIÓN DE PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL BANCO DE VOLUMEN Y CAUDAL DE LÍQUIDOS, PARA EL DIVERTER

Según la norma ISO 4185 para determinar la  $C_{diverter}$  se debe realizar la prueba para una amplia gama de caudales, se inició con la caracterización del tanque grande el cual tiene un intervalo de operación de 150 a 900 [kg/min], los caudales de prueba a evaluar son: 900 kg/min, 750 kg/min, 600 kg/min, 450 kg/min, 300 kg/min y 150 kg/min;

### 5.10.1 Prueba de funcionamiento para la determinación de la $C_{diverter}$

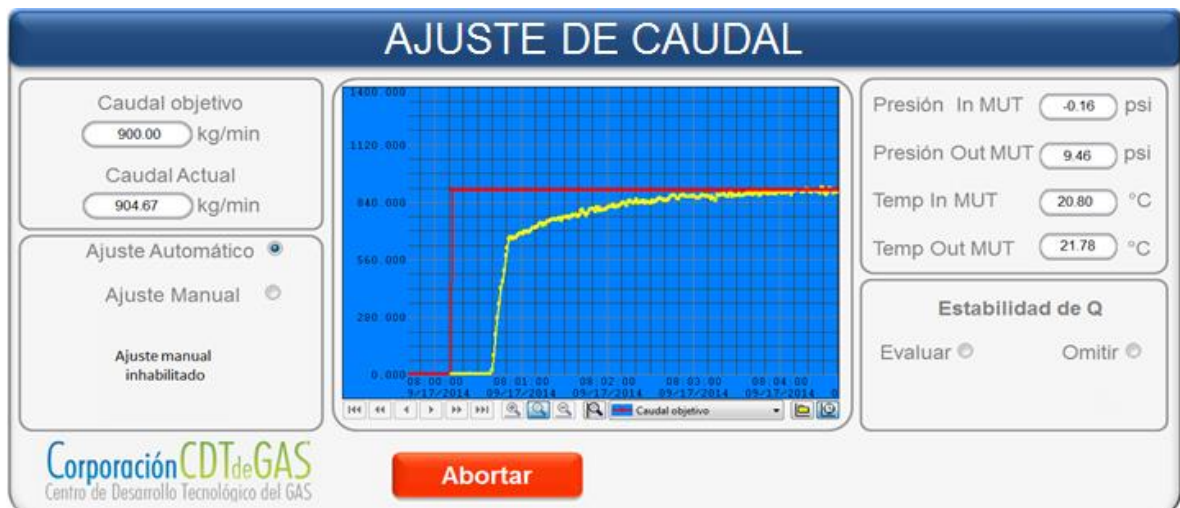
La prueba de funcionamiento se realizó como se mencionó en la sección 5.3.3 Diverter, en donde se debe llevar a cabo tres pruebas, Prueba estándar número 1,

Prueba de Ráfagas y Prueba estándar número 2, con tres repeticiones por un caudal y 25 ráfagas.

Al inicio de la estrategia se selecciona el elemento a realizar Aseguramiento metrológico en este caso “Diverter”, seguido se escoge la válvula desviadora a utilizar e ingresar los datos iniciales, una vez se cumpla con esto aparecerá la pantalla de la Figura 68, donde se selecciona ajuste automático la cual tiene como función llevar el caudal presente (Línea amarilla) al caudal objetivo (Línea roja), visualizando dichos caudales a través de una gráfica, además se puede observar el valor del caudal objetivo y caudal actual en [kg/min].

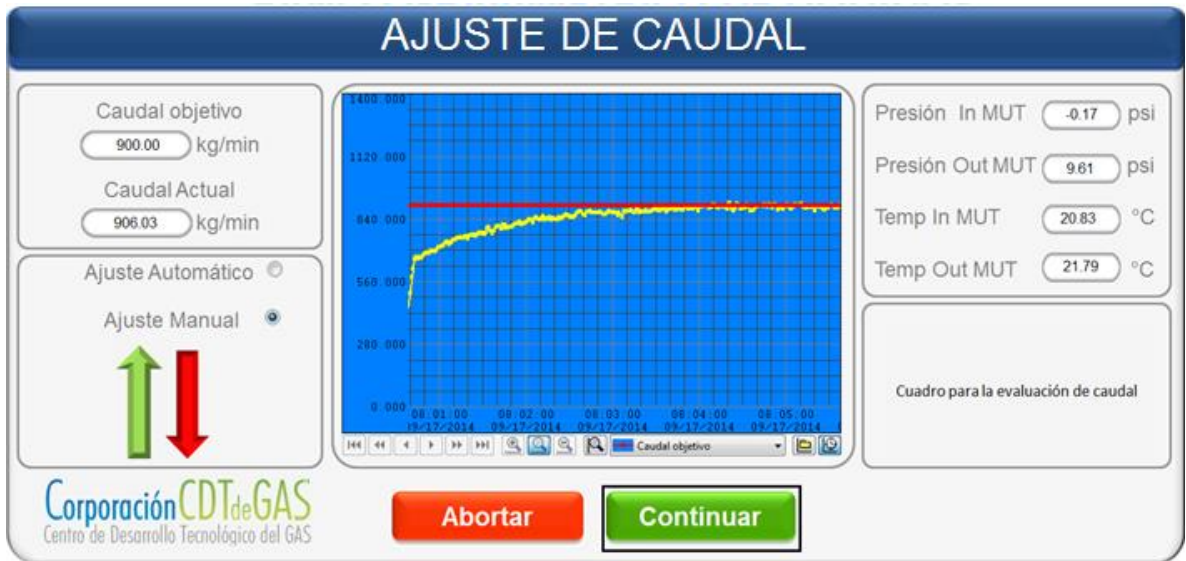
Cuando se observa que el caudal objetivo y el caudal presente sean aproximadamente iguales (error del  $\pm 2\%$  del caudal objetivo), se debe elegir la opción de Ajuste Manual, seguido de la opción continuar como se observa en la Figura 69.

**Figura 68.**HMI Diverter



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22.

**Figura 69.** Ajuste de caudal (Ajuste Manual)



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22.

A continuación se observa la pantalla de la Figura 70 en donde se debe ingresar el tiempo de prueba el cual es 60 [s].

**Figura 70.** Constante de la válvula desviadora



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22.

Al ingresar el tiempo de prueba se debe seleccionar el botón “Iniciar” y se ejecutaran las tres pruebas descritas en la norma ISO 4185. Como se observa en la Figura 71.

**Figura 71.** Prueba estándar 1



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22.

Al terminar cada prueba, se debe estabilizar la indicación de la balanza como se observa en la Figura 72 al lograr esto se continua con la siguiente prueba.

**Figura 72.** Estabilización de la indicación de la balanza



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22.

**Figura 73.** Prueba de Ráfagas



**Fuente:** Elaboración Propia en PAC DISPLAY de Opto 22.

En cada una de las Ráfagas se estabiliza la indicación de la balanza. Al finalizar esta prueba continua la prueba estándar 2.

Cada dato tomado en las pruebas se guarda en un histórico como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 74.** Histórico caudal de 900

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Date	Time	Id Caudal	Repeticion	Etapa event	Rafaga #	Masa del pat	Tiempo de la	Caudal ELM	Pulsos MUT	Presion in	Presion Out	Temperature	Temperature	900	
2	9/18/2014	13:33:47:59	1	1	1	0	883.95	59.996	882.57	0	-0.173	9.421	21.771	23.673		0
3	9/18/2014	13:39:14:53	1	1	2	1	36.53	2.471	884.27	734	-0.183	9.511	21.892	23.685		37.3
4	9/18/2014	13:40:22:72	1	1	2	2	36.21	2.472	890.6	727	-0.168	9.9	21.921	23.707		37.4
5	9/18/2014	13:43:13:12	1	1	2	3	36.57	2.474	887.33	733	-0.173	9.266	22.012	23.775		37.4
6	9/18/2014	13:45:59:60	1	1	2	4	36.54	2.473	878.22	733	-0.148	10.24	22.062	23.828		37.35
7	9/18/2014	13:48:32:88	1	1	2	5	36.53	2.485	890.05	731	-0.183	9.311	22.123	23.895		37.35
8	9/18/2014	13:49:48:97	1	1	2	6	36.6	2.474	880.12	733	-0.168	10.345	22.139	23.923		37.55
9	9/18/2014	13:51:42:88	1	1	2	7	36.19	2.473	873.87	725	-0.178	9.122	22.152	23.97		37.4
10	9/18/2014	13:55:01:86	1	1	2	8	36.49	2.471	890.53	731	-0.168	9.636	22.206	24.04		37.25
11	9/18/2014	13:57:32:08	1	1	2	9	36.54	2.476	873.19	733	-0.173	9.336	22.228	24.111		37.4
12	9/18/2014	13:59:51:07	1	1	2	10	36.52	2.474	878.42	730	-0.178	9.216	22.267	24.151		37.3
13	9/18/2014	14:02:39:82	1	1	2	11	36.52	2.48	877.81	732	-0.208	9.421	22.305	24.209		37.3
14	9/18/2014	14:03:37:70	1	1	2	12	36.44	2.478	881.69	731	-0.213	9.356	22.321	24.243		37.35
15	9/18/2014	14:04:39:61	1	1	2	13	36.4	2.473	881.28	730	-0.228	9.456	22.351	24.274		37.35
16	9/18/2014	14:06:18:14	1	1	2	14	36.38	2.471	895.22	729	-0.208	9.591	22.372	24.312		37.3
17	9/18/2014	14:07:53:47	1	1	2	15	36.36	2.475	885.56	730	-0.248	9.176	22.397	24.346		37.4
18	9/18/2014	14:09:28:00	1	1	2	16	36.36	2.473	881.14	729	-0.273	9.611	22.423	24.373		37.4
19	9/18/2014	14:11:45:31	1	1	2	17	36.43	2.481	878.15	730	-0.258	9.576	22.438	24.412		37.35
20	9/18/2014	14:11:50:24	1	1	2	18	36.5	2.479	871.49	731	-0.263	9.351	22.458	24.433		37.35
21	9/18/2014	14:13:19:70	1	1	2	19	36.5	2.479	871.01	731	-0.228	9.585	22.462	24.472		37.3
22	9/18/2014	14:15:15:64	1	1	2	20	36.15	2.481	885.29	725	-0.188	9.271	22.475	24.517		37.4
23	9/18/2014	14:16:45:05	1	1	2	21	36.3	2.471	881.42	728	-0.178	9.371	22.474	24.556		37.3
24	9/18/2014	14:17:40:97	1	1	2	22	36.3	2.473	868.84	727	-0.188	9.516	22.459	24.583		37.45
25	9/18/2014	14:19:24:60	1	1	2	23	36.25	2.473	881.76	727	-0.193	9.471	22.46	24.607		37.3

**Fuente:** Elaboración Propia.

Esta misma prueba se repitió en los tres tanques a diferentes caudales de acuerdo a la capacidad de cada uno de estos.

El histórico que se obtuvo en cada una de las pruebas permitió la determinación del  $\Delta t$  y a su vez la  $C_{Diverter}$ .

Los resultados obtenidos en una de las pruebas fueron los siguientes:

**Tabla 13.** Prueba Estándar 1

Masa [Kg]	Tiempo [s]	Qmut [Kg/min]
883.950	59.996	882.570

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 14.** Prueba Estándar 2

Masa [Kg]	Tiempo [s]	Qmut [Kg/min]
883.100	59.989	891.410

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 15.** Prueba Ráfagas

Número	Masa [Kg]	Tiempo [s]	Qm-real [Kg/min]
1	36.530	2.471	884.270
2	36.210	2.472	890.600
3	36.570	2.474	887.330
4	36.540	2.473	878.220
5	36.530	2.485	890.050
6	36.600	2.474	880.120
7	36.190	2.473	873.870
8	36.490	2.471	890.530
9	36.540	2.476	873.190
10	36.520	2.474	878.420
11	36.520	2.480	877.810
12	36.440	2.478	881.690
13	36.400	2.473	881.280
14	36.380	2.471	895.220
15	36.360	2.475	885.560
16	36.360	2.473	881.140
17	36.430	2.481	878.150
18	36.500	2.479	871.490
19	36.500	2.479	871.010
20	36.150	2.481	885.290
21	36.300	2.471	881.420
22	36.300	2.473	868.840
23	36.250	2.473	881.760
24	36.300	2.475	890.940
25	36.250	2.473	869.720
<b>Promedio</b>	<b>910 Kg</b>	<b>62 s</b>	<b>881.117 Kg/min</b>

**Fuente:** propia

En las anteriores los resultados la prueba Prueba prueba de En la Tabla encuentra la de las variables necesitan del

Elaboración tablas se observan diferentes obtenidos en estándar 1, estándar 2 y ráfagas. 16, se determinación diferentes que se para la determinación  $\Delta t$  y  $C_{Diverter}$ .

**Tabla 16.** Proceso

<b>Q1-3</b> (Promedio caudales Prueba estándar 1 y 3):	887 Kg/min
<b>m1-3</b> (Promedio masa colectada prueba estándar 1 y 3):	884 Kg
<b>q1-3</b> (Promedio caudal prueba estándar 1 y 3):	15 Kg/s
<b>q/q'</b> :	1 Kg/min
<b>t1-3</b> (Tiempo promedio prueba estándar 1 y 3):	60 s
<b>q</b> (Caudal Prueba ráfagas):	15 Kg/s

<b><math>\Delta t</math> (Error de tiempo de llenado):</b>	<b>0.014 s</b>
<b>Corrección (Factor de corrección de masa):</b>	<b>0.1993 Kg</b>
<b>C-diverter (Constante del Diverter):</b>	<b>1.00022563</b>

**Fuente:** Elaboración propia

El proceso descrito anteriormente se repitió en los tres tanques con diferentes variedades de caudales de acuerdo al intervalo de operación de cada uno de estos, los resultados obtenidos una vez analizados los datos se muestran a continuación.

- **Resultados Tanque 1**

En cada una de las siguientes tablas se puede observar el valor obtenido de la constante del diverter y el promedio del mismo, donde se evalúa repetibilidad en con cada uno de los puntos y reproducibilidad con cada caracterización realizada.

**Tabla 17.** Caracterización 1 Tanque 1

<b>Caracterización No 1</b>							
	<b>Caudal [kg/min]</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>Promedio</b>	<b>Desvest</b>	<b>Desv. %</b>
<b>Boq. 1</b>	5	0.99900	0.99970	1.00170	1.00014	0.00140	0.140%
	10	0.99810	0.99997	1.00010	0.99939	0.00112	0.112%
	15	0.99909	1.00123	1.00041	1.00025	0.00108	0.108%
<b>Boq. 2</b>	20	0.99856	0.99932	0.99886	0.99891	0.00038	0.038%
	25	1.00033	0.99859	0.99904	0.99932	0.00090	0.091%
	30	0.99894	1.00044	0.99998	0.99979	0.00077	0.077%
	35	0.99961	0.99954	0.99911	0.99942	0.00027	0.027%
<b>PROMEDIO</b>					<b>0.99960</b>		

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 18.** Caracterización 2 Tanque 1

<b>Caracterización No 2</b>							
	<b>Caudal [kg/min]</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>promedio</b>	<b>Desvest</b>	<b>Desv. %</b>
<b>Boq. 1</b>	5	1.00072	1.00132	0.99968	1.00057	0.00083	0.083%
	10	1.00045	0.99979	0.99919	0.99981	0.00063	0.063%
	15	0.99822	0.99874	0.99774	0.99823	0.00050	0.050%

Boq. 2	20	0.99958	1.00002	0.99935	0.99965	0.00034	0.034%
	25	0.99909	1.00011	0.99919	0.99947	0.00056	0.056%
	30	0.99939	1.00011	0.99910	0.99953	0.00052	0.052%
	35	0.99866	0.99860	0.99853	0.99860	0.00006	0.006%
				<b>PROMEDIO</b>	0.99941		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Caracterización 3 Tanque 1

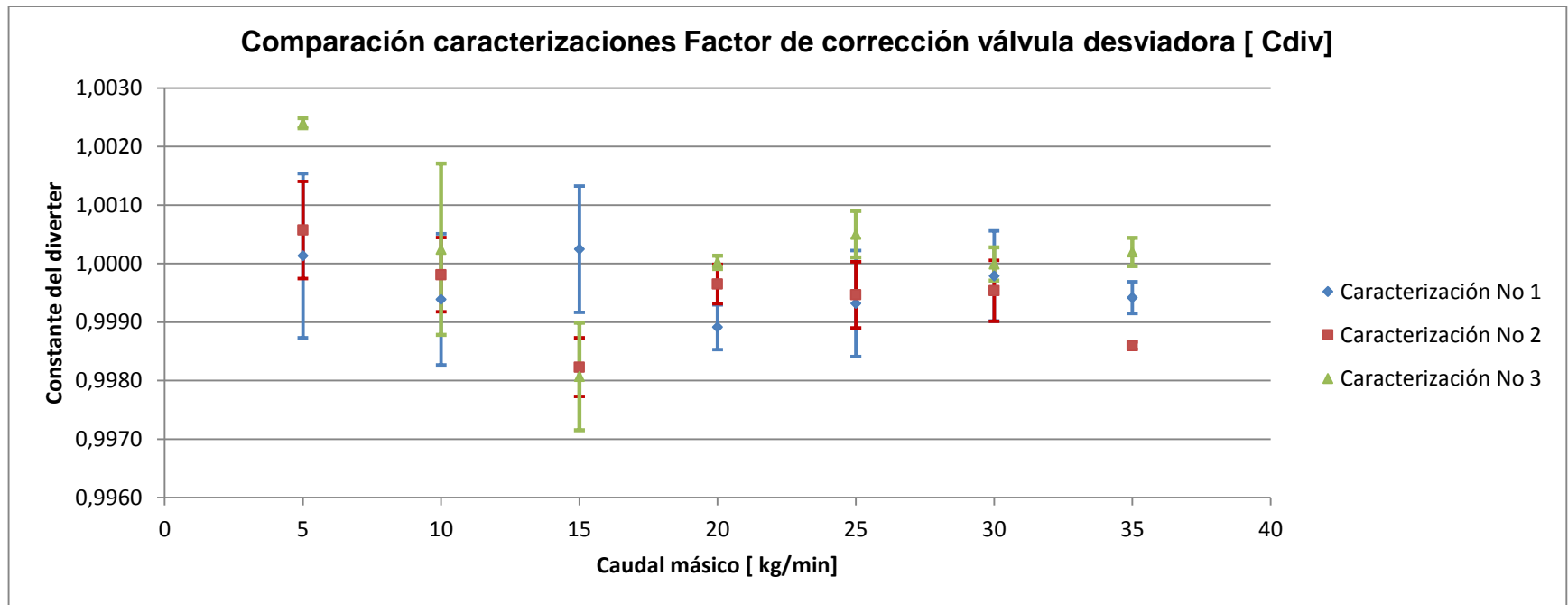
Caracterización No 3							
	Caudal [kg/min]	1	2	3	promedio	Desvest	Desv. %
Boq. 1	5	1.00250	1.00235	1.00235	1.00240	0.00009	0.009%
	10	0.99935	1.00194	0.99945	1.00025	0.00147	0.147%
	15	0.99911	0.99771	0.99739	0.99807	0.00092	0.092%
Boq. 2	20	0.99994	0.99997	1.00015	1.00002	0.00011	0.011%
	25	1.00049	1.00091	1.00011	1.00050	0.00040	0.040%
	30	1.00030	0.99974	0.99994	0.99999	0.00028	0.028%
	35	0.99996	1.00044	1.00019	1.00020	0.00024	0.024%
				<b>PROMEDIO</b>	1.00020		

Fuente: Elaboración propia

En la

**Figura 75**, se puede observar la cercanía y la desviación estándar entre cada uno de los puntos obtenidos.

**Figura 75.** Comparación caracterizaciones Factor de corrección válvula desviadora



**Fuente:** Elaboración Propia.

- **Resultados Tanque 2**

**Tabla 20.** Caracterización 1 Tanque 2

		Caracterización No 1						
		Caudal [kg/min]	1	2	3	Promedio	Desvest	Desv. %
Boq. No 1	40	0.99962	0.99997	0.99981	0.99980	0.00018	0.018%	
	50	1.00007	0.99957	1.00007	0.99991	0.00029	0.029%	
	60	0.99960	0.99992	0.99975	0.99976	0.00016	0.016%	
	70	0.99961	0.99989	0.99974	0.99975	0.00014	0.014%	
Boq. No 2	80	0.99978	0.99986	0.99968	0.99977	0.00009	0.009%	
	90	0.99952	0.99982	0.99957	0.99964	0.00016	0.016%	
	100	0.99984	0.99973	0.99974	0.99977	0.00006	0.006%	
	110	0.99982	0.99980	0.99972	0.99978	0.00005	0.005%	
	120	0.99974	0.99989	0.99957	0.99973	0.00016	0.016%	
	130	0.99958	0.99983	0.99988	0.99976	0.00016	0.016%	
					<b>PROMEDIO</b>	0.99977		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 21.** Caracterización 2 Tanque 2

		Caracterización No 2						
		Caudal [kg/min]	1	2	3	Promedio	Desvest	Desv. %
Boq. No 1	40	1.00005	1.00016	1.00012	1.00011	0.00006	0.006%	
	50	1.00003	1.00018	1.00013	1.00011	0.00008	0.008%	
	60	1.00074	0.99982	0.99999	1.00018	0.00049	0.049%	
	70	1.00011	0.99989	0.99986	0.99995	0.00014	0.014%	
Boq. No 2	80	0.99962	0.99978	0.99941	0.99961	0.00019	0.019%	
	90	0.99954	0.99960	0.99960	0.99958	0.00003	0.003%	
	100	0.99973	0.99972	0.99962	0.99969	0.00006	0.006%	
	110	0.99966	0.99937	0.99979	0.99961	0.00022	0.022%	
	120	0.99950	1.00017	0.99941	0.99970	0.00042	0.042%	
	130	0.99971	1.00005	1.00135	1.00037	0.00087	0.087%	
					<b>PROMEDIO</b>	0.99989		

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 22.** Caracterización 3 Tanque 2

Caracterización No 3							
	Caudal [kg/min]	1	2	3	Promedio	Desvest	Desv. %
Boq. No 1	40	0.99929	1.00054	0.99997	0.99993	0.00063	0.063%
	50	0.99983	0.99981	1.00018	0.99994	0.00021	0.021%
	60	0.99991	1.00020	0.99982	0.99998	0.00020	0.020%
	70	0.99993	0.99974	0.99980	0.99982	0.00009	0.009%
Boq. No 2	80	1.00001	0.99974	0.99944	0.99973	0.00028	0.028%
	90	0.99977	0.99985	0.99976	0.99980	0.00005	0.005%
	100	0.99976	0.99969	0.99973	0.99973	0.00004	0.004%
	110	0.99981	0.99964	0.99989	0.99978	0.00012	0.012%
	120	1.00017	0.99895	0.99941	0.99951	0.00061	0.061%
	130	1.00007	1.00039	0.99999	1.00015	0.00021	0.021%
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0.99984</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

En la Figura 76, se puede observar la cercanía y la desviación estándar entre cada uno de los puntos obtenidos.

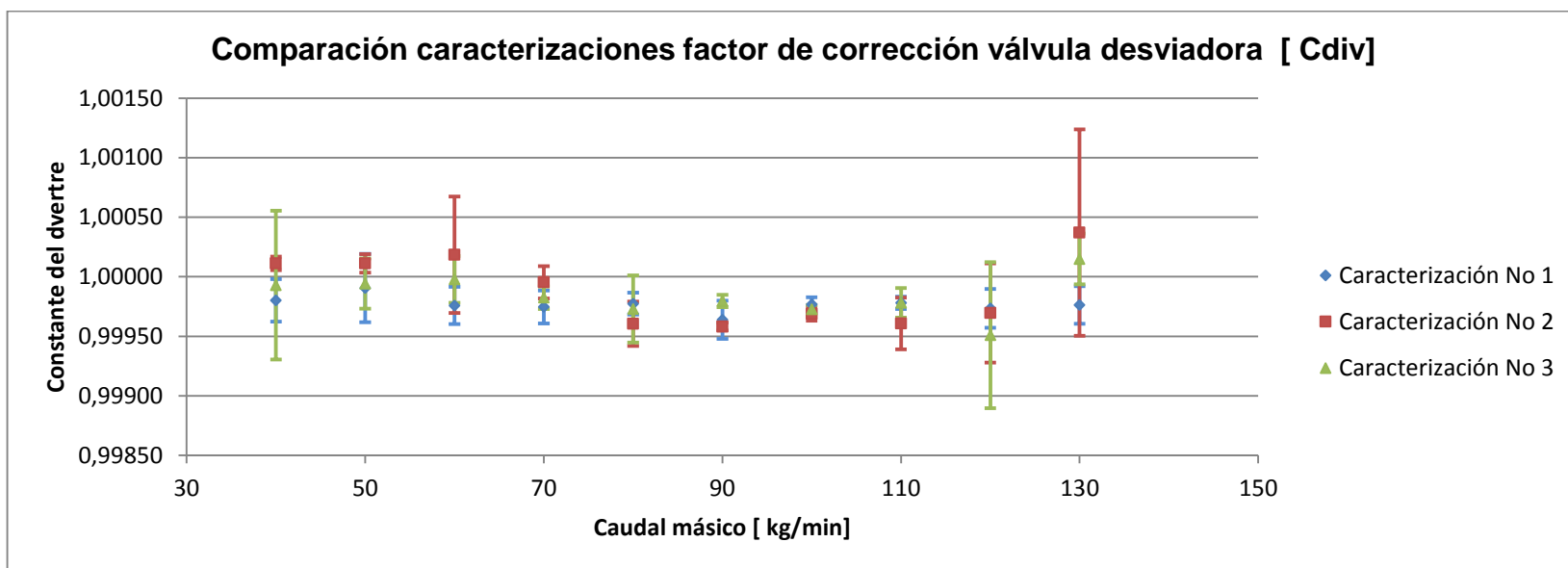
- **Resultados Tanque 3**

**Tabla 23.** Caracterización 1 Tanque 3

Caracterización No 1							
	Caudal [kg/min]	prueba1	prueba2	prueba3	promedio	Desvest	Desv. %
Boq. No 2	900	1.00023	0.99981	0.99993	0.99999	0.00021	0.021%
	750	0.99974	0.99943	1.00022	0.99980	0.00040	0.040%
	600	0.99965	1.00012	0.99982	0.99986	0.00024	0.024%
Boq. No 1	450	0.99996	0.99993	0.99980	0.99990	0.00009	0.009%
	300	0.99981	0.99999	0.99976	0.99985	0.00012	0.012%
	150	0.99983	0.99966	0.99963	0.99970	0.00011	0.011%
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0.99985</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

**Figura 76.** Comparación caracterizaciones Factor de corrección válvula desviadora Tanque 2



**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 24.** Caracterización 2 Tanque 3

Caracterización No 2							
	Caudal [kg/min]	prueba1	prueba2	prueba3	promedio	Desvest	Desv. %
Boq. No 2	900	1.00016	1.00005	0.99974	0.99998	0.00022	0.022%
	750	0.99959	0.99973	1.00014	0.99982	0.00028	0.028%
	600	0.99967	0.99970	0.99998	0.99978	0.00017	0.017%
Boq. No 1	450	0.99985	1.00021	1.00008	1.00005	0.00018	0.018%
	300	0.99993	0.99988	1.00001	0.99994	0.00007	0.007%
	150	0.99969	0.99943	0.99962	0.99958	0.00013	0.013%
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0.99986</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia.

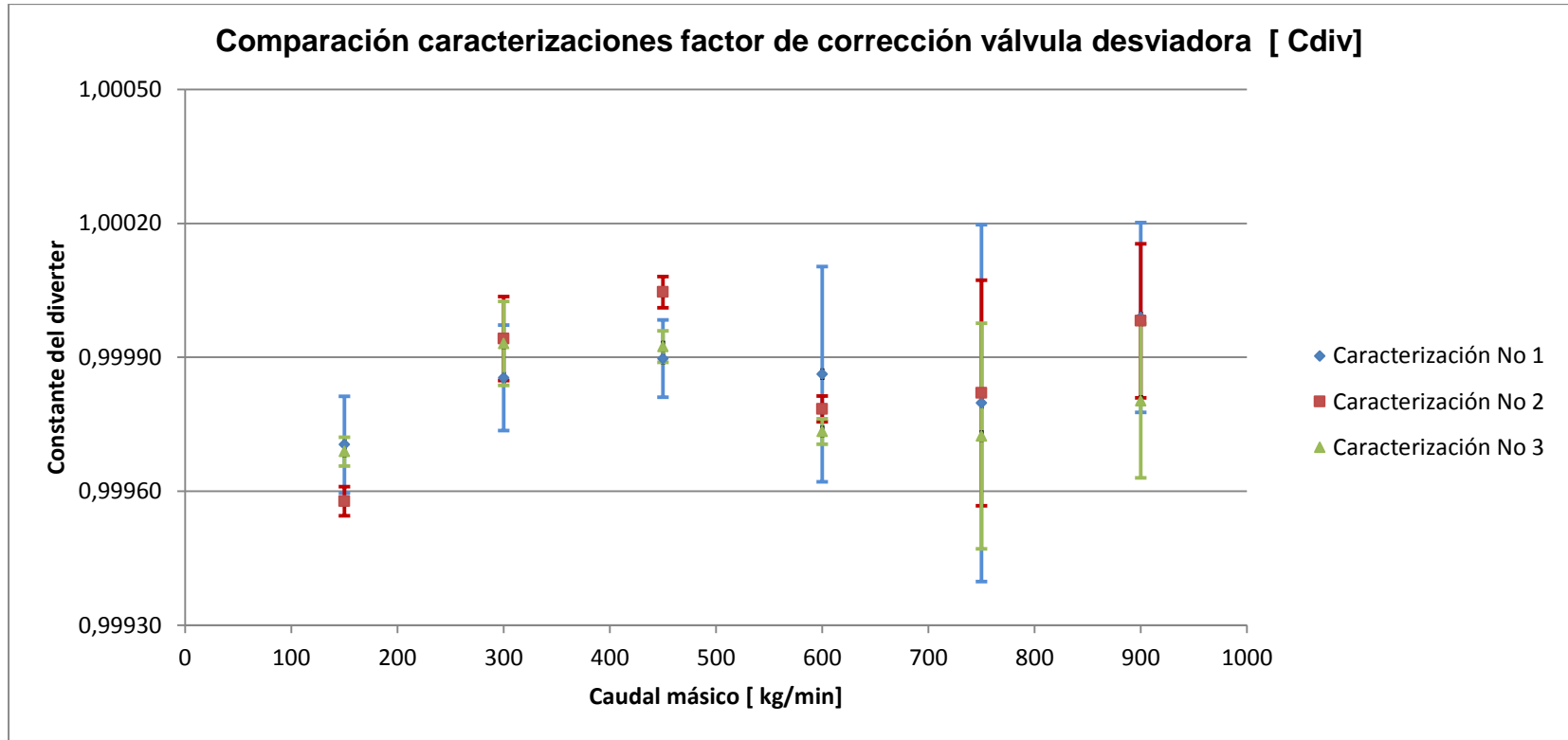
**Tabla 25.** Caracterización 3 Tanque 3

Caracterización No 3							
	Caudal [kg/min]	prueba1	prueba2	prueba3	promedio	Desvest	Desv. %
Boq. No 2	900	0.99994	0.99987	0.99961	0.99980	0.00017	0.017%
	750	0.99999	0.99949	0.99970	0.99972	0.00025	0.025%
	600	0.99972	0.99972	0.99977	0.99973	0.00003	0.003%
Boq. No 1	450	0.99992	0.99996	0.99989	0.99992	0.00004	0.004%
	300	0.99988	1.00004	0.99987	0.99993	0.00009	0.009%
	150	0.99972	0.99965	0.99969	0.99969	0.00003	0.003%
					<b>PROMEDIO</b>	<b>0.99980</b>	

**Fuente:** Elaboración Propia.

En la Figura 77, se puede observar la cercanía y la desviación estándar entre cada uno de los puntos obtenidos.

**Figura 77.** Comparación caracterizaciones Factor de corrección válvula desviadora Tanque 3



Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente tabla se encuentran definidas las constantes del diverter las cuales corresponde al promedio de cada una de las caracterizaciones correspondiente a cada tanque.

**Figura 78.** Constante  $C_{diverter}$

	TANQUE 1	TANQUE 2	TANQUE 3
$C_{diverter}$	0.99973805	0.99983144	0.99983672

**Fuente:** Elaboración Propia.

La determinación de esta constante es de vital importancia para la emisión de resultados en el banco gravimétrico de líquidos ya que con dicha constante se permite encontrar el valor corregido de la masa medida del patrón tal y como se explica en numeral 5.2.1.

## 6. IMPLEMENTACIÓN DEL PANEL MUT

En el Banco Gravimétrico de Líquidos surgió la necesidad del diseño e implementación del panel MUT, como se evidencia en la Figura 79 las conexiones del equipo a calibrar para conectarse con la automatización se debe realizar de manera manual.

**Figura 79.** Conexión medidor a Opto 22



**Fuente:** Fotografía tomada en la Corporación CDT de GAS

## **6.1 DISEÑO PANEL MUT**

El panel MUT debe contener:

- Voltajes de alimentación AC y DC
- Conexión por salida de pulsos
- Conexión por lazo de 4 mA a 20 mA
- Selección del tipo de señal a utilizar

### **6.1.1 Totalización del volumen del MUT por salida de pulsos**

Un medidor con salida de pulsos de totalización, es aquel que posee una adecuación eléctrica o electrónica para representar el volumen medido, a través de una relación representada por un tren de pulsos eléctricos, denominado K-Factor. La frecuencia de salida de pulsos depende directamente del K-Factor del medidor, se deben tener en consideración dos posibilidades para la salida de pulsos, de las cuales dependerá el protocolo de conexión a seguir.

El tren de pulsos emitido por el medidor puede ser autosuficiente (salida activa), es decir, que carece de la necesidad de habilitarle una fuente de poder para la generación de un tren de pulsos adecuado para el hardware de OPTO22 o puede ser de disposición pasiva (salida pasiva), la cual, es necesario aplicar ciertos arreglos de señal, según su tipo.

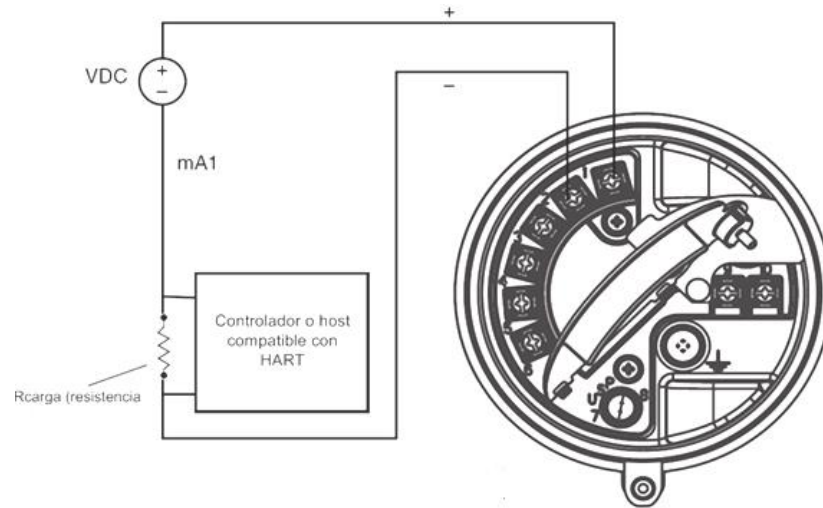
#### **6.1.1.1 Salida activa de pulsos**

Una salida activa de pulsos es aquella referida a medidores que poseen salida de pulsos alimentadas directamente por fuentes de poder internas, que por lo tanto, no requieren de la conexión de fuentes externas para la generación de la señal.

#### **6.1.1.2 Salida pasiva de pulsos**

Este tipo de salida necesita de un voltaje de alimentación. Como se muestra la siguiente Figura.

**Figura 80.** Conexión Pasiva



**Fuente:** Corporación CDT de GAS

En donde se puede observar que necesita de un voltaje de alimentación y una resistencia la cual debe ser seleccionada según las indicaciones del fabricante que se encuentra descrita en la hoja de datos del equipo.

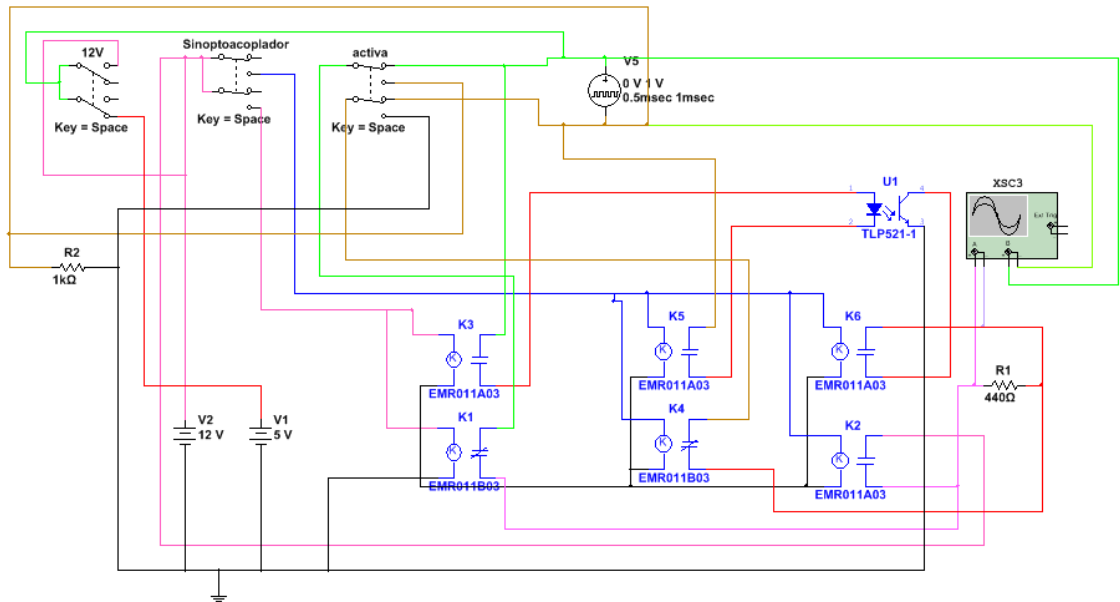
### 6.1.2 Simulaciones del diseño a implementar

- **Salida activa de pulsos**

Para el diseño de la salida activa de pulsos se debe tener en cuenta que el voltaje máximo de Opto 22 es de 16V dc. Para los casos donde los pulsos superan dicho valor de voltaje se necesita de la activación del Optoacoplador el cual se comporta como un aislamiento eléctrico entre los circuitos de entrada y salida, El único contacto entre ambos circuitos es un haz de luz, este optoacoplador permite convertir el nivel de salida a 12Vdc.

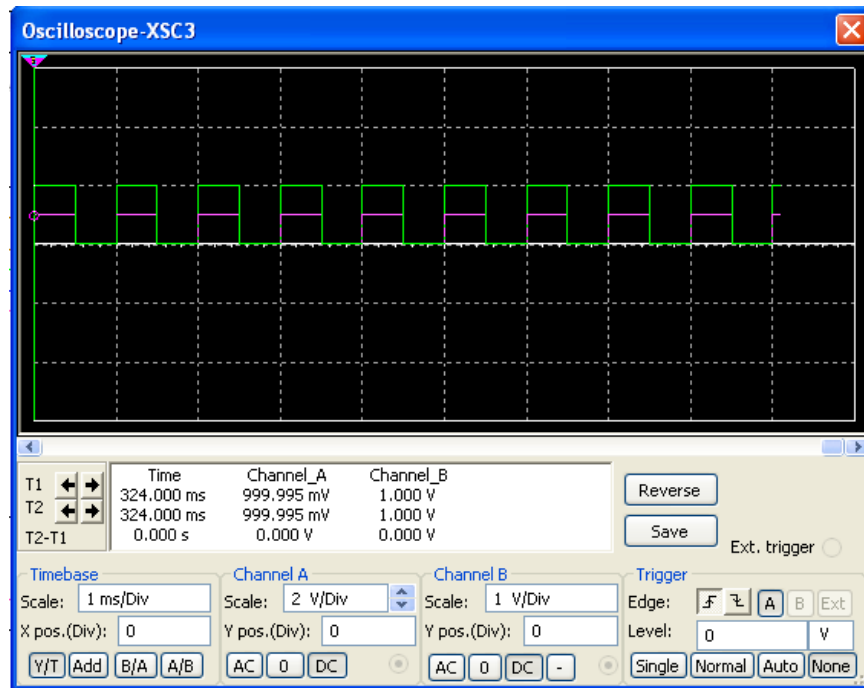
En las siguientes figuras que se observa el diseño del circuito implementado para una señal activa.

**Figura 81.** Simulación señal activa sin optoacoplador



Fuente: Elaboración propia en Multisim (Simulador National Instruments)

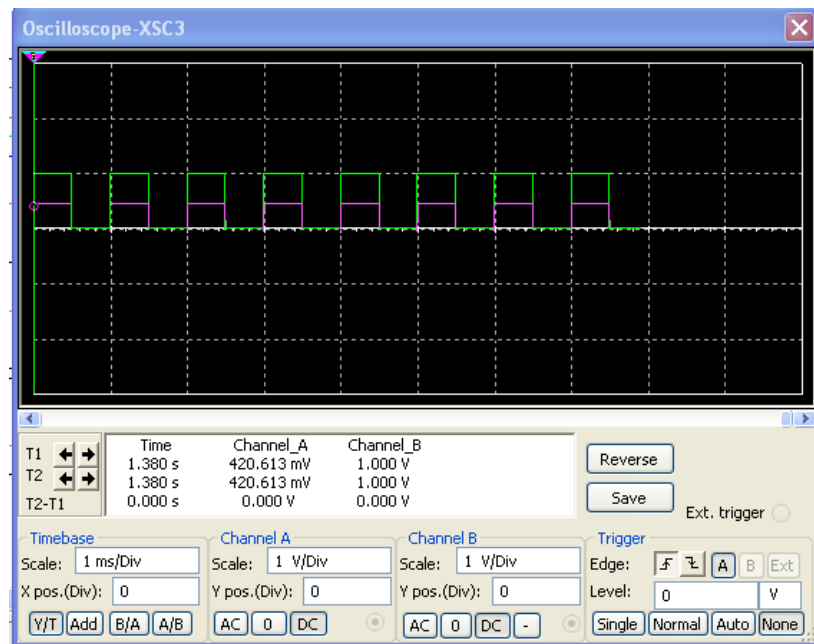
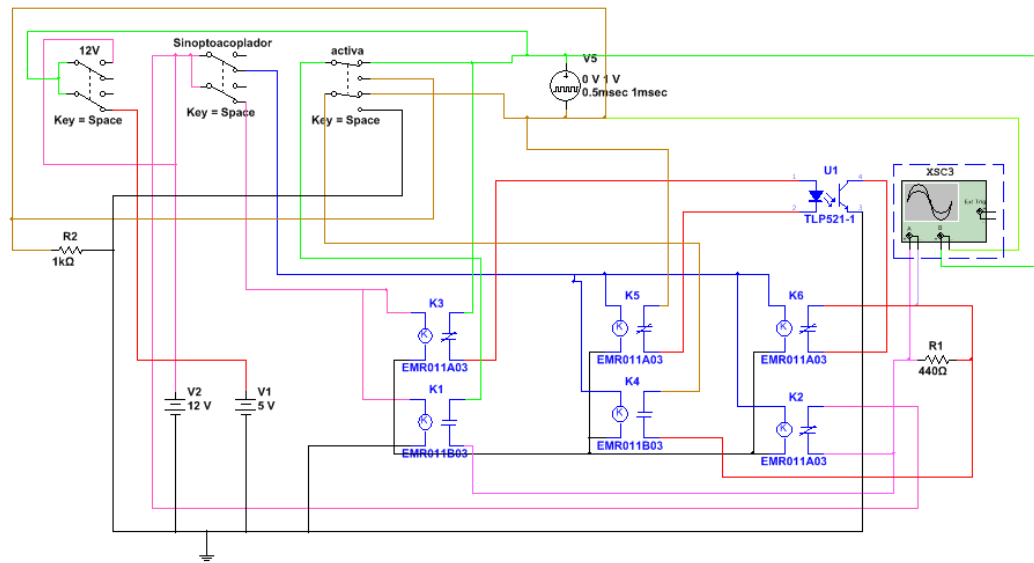
Figura 82. Salida del Osciloscopio de la figura 81.



Fuente: Elaboración propia en Multisim (Simulador National Instruments)

En la Figura 82, se puede observar la señal de entrada identificada con color verde (--) y la señal de salida identificada con color rosado (--), donde poseen un mismo nivel de tensión, cumpliendo con los requerimientos para este tipo de señal, debido a que se encuentra dentro de los niveles de tensión soportados por Opto 22.

**Figura 83.** Simulación señal activa con optoacoplador



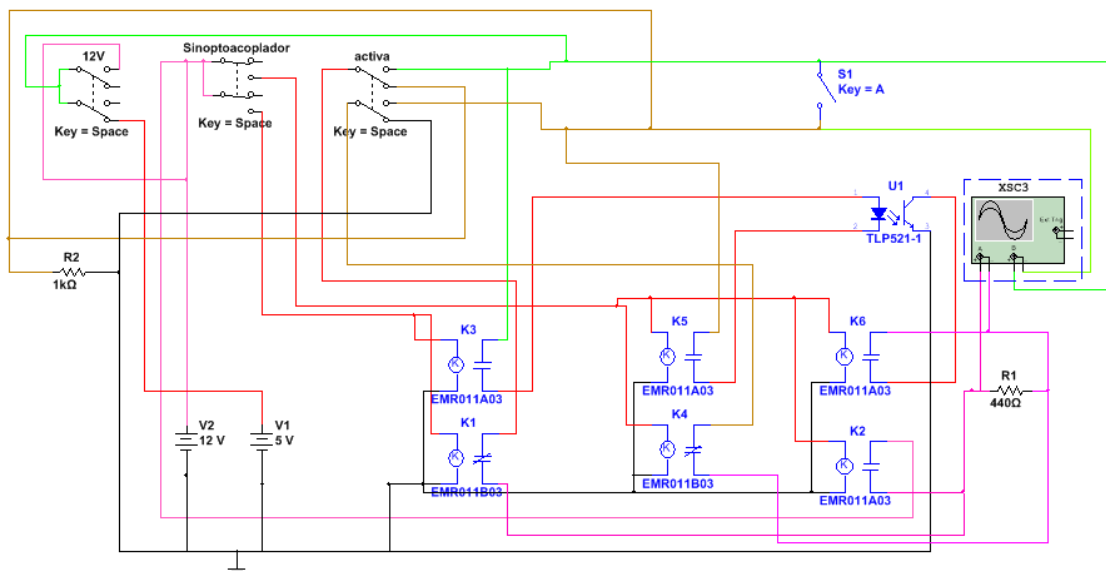
**Fuente:** Elaboración propia en Multisim (Simulador National Instruments)

En la Figura 83, se puede observar que la señal de entrada identificada con color verde (--) posee un nivel de tensión de 1V y la señal de salida identificada con color rosado (--) posee un nivel de tensión de 500 mV, esto se debe a la activación del optoacoplador el cual reduce el nivel de tensión de la entrada, permitiendo la conexión de este tipo de señal a Opto 22.

- **Salida pasiva de pulsos**

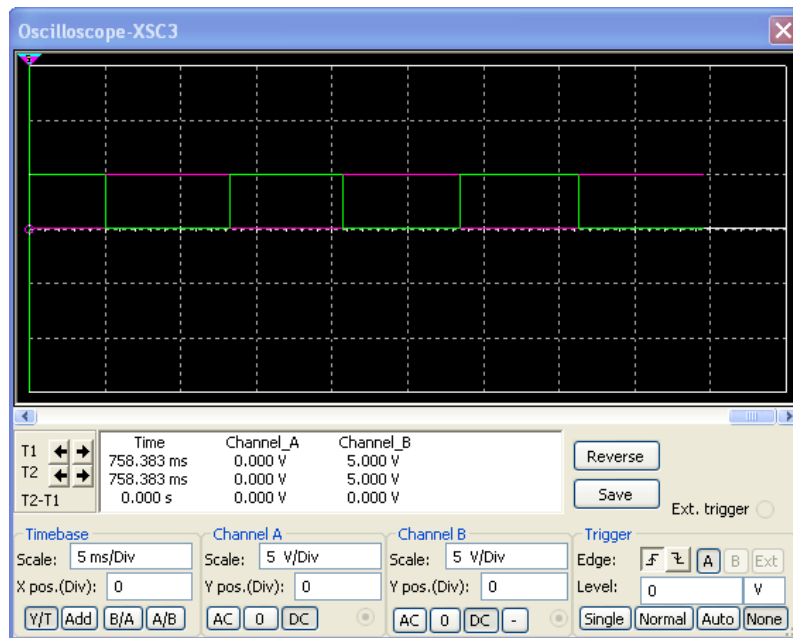
Como se mencionó en la sección 6.1.1.2, este tipo de señales necesita de un voltaje de alimentación el cual no debe superar los 16 V dc debido a Opto 22, las simulaciones realizadas a este tipo de señal se muestran a continuación.

**Figura 84.** Simulación señal pasiva con voltaje de alimentación de 5V



**Fuente:** Elaboración propia en Multisim (Simulador National Instruments)

**Figura 85.** Salida del Osciloscopio de la figura 84.

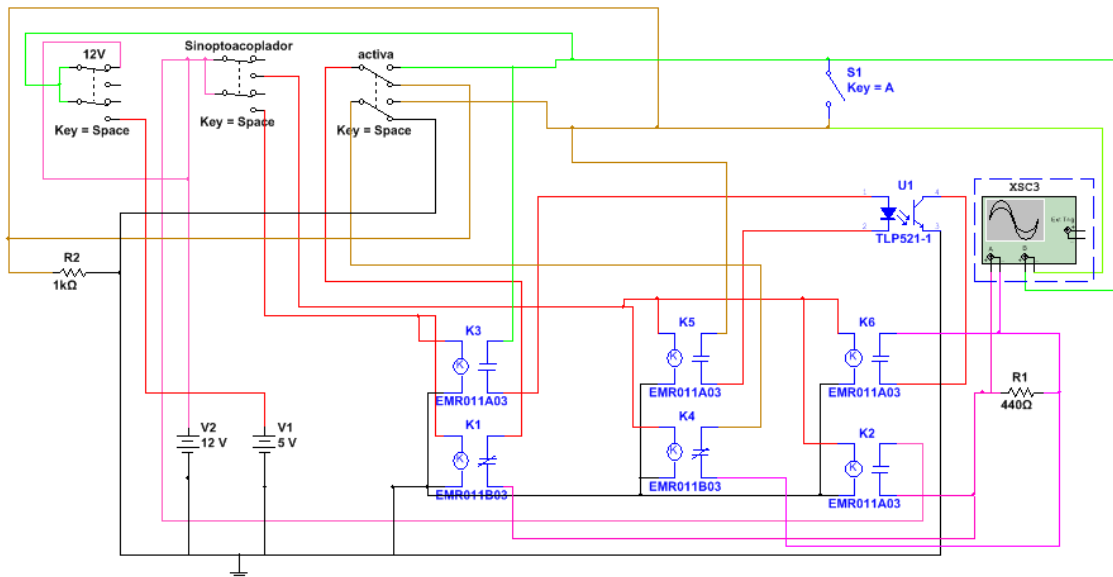


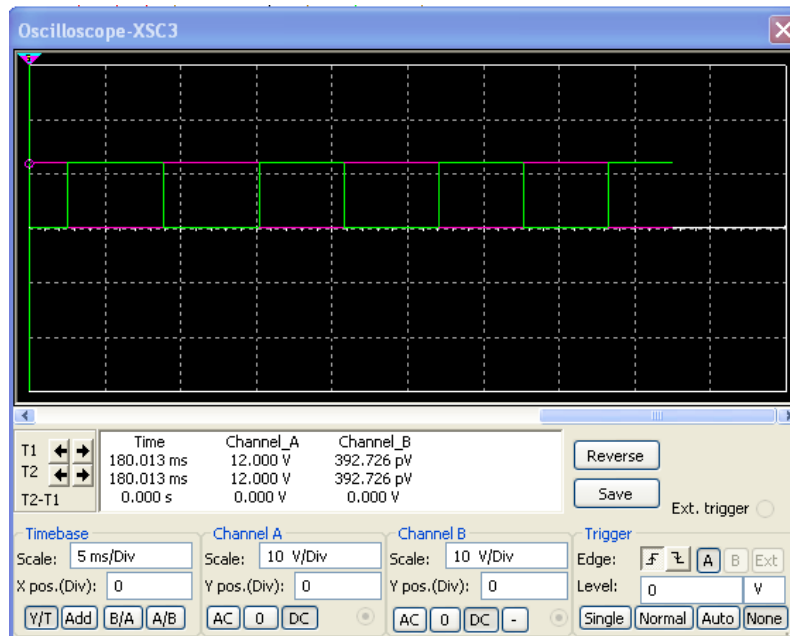
**Fuente:** Elaboración propia en Multisim (Simulador National Instruments).

Como se puede observar en la Figura 85, la señal posee un nivel de tensión correspondiente al voltaje de alimentación seleccionado en este caso 5V.

En la Figura 86, se observa la simulación de una señal pasiva con voltaje de alimentación de 12V.

**Figura 86.** Simulación señal pasiva con voltaje de alimentación de 12V





**Fuente:** Elaboración propia en Multisim (Simulador National Instruments).

Al igual el anterior caso, la señal posee un nivel de tensión correspondiente al voltaje de alimentación seleccionado 12V.

## 6.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PANEL MUT

Una vez diseñado y verificado el diseño, se procede a la implementación del mismo.

### 6.2.1 CONEXIONES ELÉCTRICAS

En este numeral se tratará de las conexiones eléctricas de la salida en lazo de corriente y de pulsos del medidor.

Para la recepción de lazo de corriente y de señales de pulsos emitidos por el MUT se encuentran a disposición un panel el cual incluyen fuentes de alimentación DC de 5V, 12V y 24V, además de la referencia de las fuentes (COM). Igualmente, incluyen fuentes de alimentación AC, además cuenta con los terminales de pulsos y de lazo de corriente que se conecta directamente a la plataforma física de OPTO22 para la obtención de la salida de pulsos que totaliza el volumen (Ver Figura 1).

**Figura 87.** Terminales Eléctricos



**Fuente:** Elaboración propia

En la siguiente tabla se puede observar cada función de las borneras que se encuentran ubicadas en el panel MUT.

**Tabla 26.** Descripción de las borneras de conexión

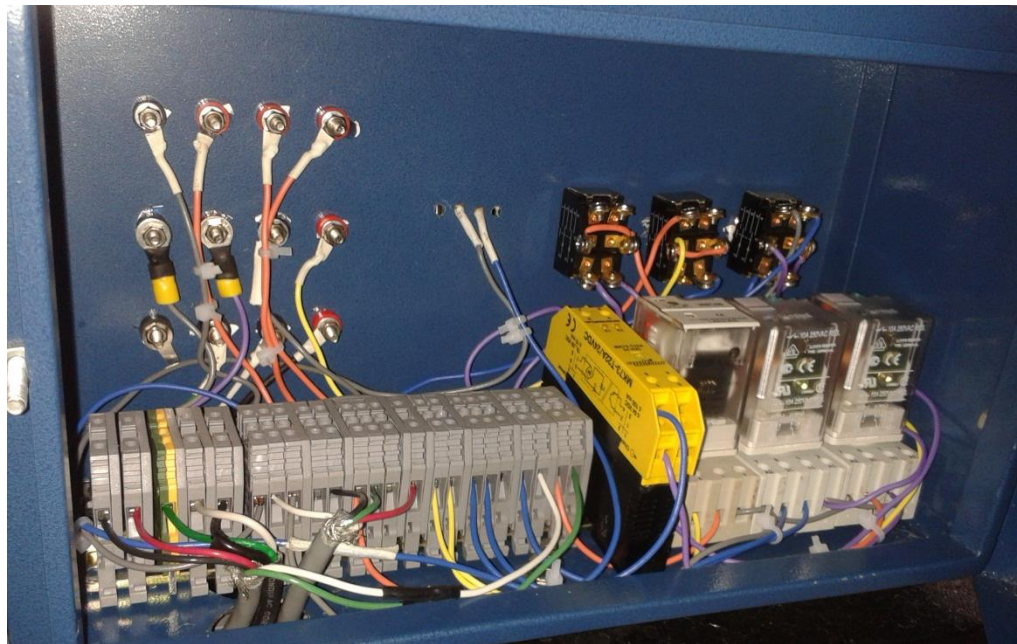
Bornera	Función
24V	Salida de 24 Voltios DC
12V	Salida de 12 Voltios DC
5V	Salida de 5 Voltios DC
COM	Referencia de la generación de voltajes DC
Pul+	Entrada Positiva de pulsos del MUT
Pul-	Entrada Negativa de pulsos del MUT
Lazo de corriente +	Entrada Positiva de lazo de corriente del MUT
Lazo de corriente -	Entrada Negativa de lazo de corriente del MUT

Bornera	Función
F	Salida de Alimentación AC Fase
N	Salida de Alimentación AC Neutro
T	Salida de Alimentación AC Tierra

**Fuente:** Elaboración propia

A continuación se puede observar el cableado final del panel MUT

**Figura 88.** Cableado Panel MUT



**Fuente:** Elaboración propia



Nota 1: Antes de Realizar cualquier instalación, asegúrese de que los Switches de habilitación de señal y voltaje se encuentran en “Neutro”, es decir el centro, y el de Optoacoplador en “Desactivar” como se muestra en la figura 1.

**Figura 89.** Conexión de Condiciones Iniciales



**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

1. El tipo de señal debe estar en la posición "Neutro" (Switch Centro).
2. El voltaje debe estar en estado "Neutro" (Switch Centro).
3. El Optoacoplador debe estar en "Desactivar" (Switch Abajo).
4. Conexión de la señal de pulsos (Frecuencia) del MUT.



Los pasos de Activación y Configuración en los Switches deben seguirse en un orden de Izquierda a Derecha, para garantizar su correcto funcionamiento

### 6.2.2 Salida activa de pulsos

Si la señal de salida posee niveles de tensión aceptables (4Vdc a 12Vdc de amplitud). La conexión de esta señal se realiza de la siguiente forma:

**Figura 90.** Conexión "Señal Activa" con niveles de tensión aceptables



**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

1. El tipo de señal debe estar en la posición "Activa" (Switch Arriba).
2. El voltaje debe estar en estado "Neutro" (Switch Centro).
3. El Optoacoplador debe estar en "Desactivar" (Switch Abajo).

Si de lo contrario la salida de la señal activa no posee niveles de tensión aceptables (4Vdc a 12Vdc de amplitud), La conexión de esta señal se realiza de la siguiente forma:

**Figura 91.** Conexión "Señal Activa" con Optoacoplador



**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

1. El tipo de señal debe estar en la posición "Activa" (Switch Arriba).
2. El voltaje debe estar en estado "Neutro" (Switch Centro).
3. El Optoacoplador debe estar en "Activar" (Switch Arriba).

### 6.2.3 Salida Pasiva de Pulsos

Este tipo de salida necesita de un voltaje de alimentación, por lo cual es necesario seleccionar en el panel frontal el voltaje de alimentación que se necesita (5V dc o 12V dc). Luego de seleccionar el voltaje de alimentación y la resistencia si este lo necesita se conecta a los canales designados ubicados en el panel de instrumentación.

A continuación la conexión de salida pasiva a 5V dc:

**Figura 92.** Conexión "Señal Pasiva" con 5V



**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

1. El tipo de señal debe estar en la posición "Pasiva" (Switch Abajo).
2. El voltaje debe estar en estado "5V" (Switch Arriba).
3. El Optoacoplador debe estar en "Desactivar" (Switch Abajo).
4. En resistencia se conecta la respectiva resistencia definida por el fabricante.

Si de lo contrario se desea alimentar con una fuente de 12V dc la conexión es la siguiente:

**Figura 93.** Conexión "Señal Pasiva" con 12V



**Fuente:** Elaboración propia

Dónde:

1. El tipo de señal debe estar en la posición "Pasiva" (Switch Abajo).
2. El voltaje debe estar en estado "12V" (Switch Abajo).
3. El Optoacoplador debe estar en "Desactivar" (Switch Abajo).
4. En resistencia se conecta la respectiva resistencia definida por el fabricante.

**Figura 94.** Banco Gravimétrico de Líquidos etapa final



**Fuente:** Fotografía Corporación CDT de GAS

## 7. APORTES AL CONOCIMIENTO

- La práctica empresarial en la Corporación CDT de GAS permitió conocer y experimentar las relaciones en un ambiente laboral, donde cada quien posee una función específica y donde todos deben cumplir con las exigencias del área de calidad para la realización de los procesos, garantizando las mediciones correctas en la prestación de servicios logrando una satisfacción tanto para el cliente como para la Corporación.
  
- Antes de realizar el desarrollo del plan de trabajo propuesto de la Corporación CDT de GAS, fue necesaria la documentación y conocimiento del proceso de cada una de sus partes para obtener los mejores resultados, el cual se realizó a través de revisión bibliográfica y formación interna logrando conocer otros equipos e instrumentos empleados en la industria del gas como lo son:
  - Medidores de desplazamiento positivo entre los cuales se encuentran Diafragmas, Rotativos y Cámaras húmedas.
  
  - Medidores lineales tipo turbina y Ultrasónico, entre otros.
  
- Se conoció sobre los procesos de calibración de las magnitudes de temperatura y presión para el cual se debe tener en cuenta la clase en %FS que viene definida por el fabricante, dicho valor permite determinar el número de puntos a calibrar y la secuencia de calibración, si los resultados de calibración se encuentran fuera de los errores máximos permisibles, el instrumento requiere ajuste el cual se realiza a través de la HMI del aseguramiento metrológico con la determinación de las constantes m y b.
  
- Diseñar e implementar el panel MUT (Actividad que no se encontraba en el plan de trabajo propuesto), permitió conocer sobre los diferentes configuraciones de señal de los medidores másicos para la salida de pulsos, lazo 4 mA a 20 mA y protocolo HART.

## 8. CONCLUSIONES

- El programa con el cual se desarrolló la estrategia y la interfaz de usuario, PAC Control y PAC Display respectivamente de la compañía OPTO 22, son de fácil comprensión ya que además de usar diagramas de flujo o charts también ofrecen la opción de programar en lenguaje Opto Script muy similar al lenguaje C++.
- La estrategia de aseguramiento metrológico permitió que el profesional encargado de la verificación de los instrumentos, opere el sistema desde una HMI (interfaz hombre máquina) de manera secuencial, ordenada, coherente y fácil de interpretar.
- Se evaluó la robustez y confiabilidad de la estrategia de aseguramiento metrológico implementada, mediante la ejecución de pruebas de operación del banco de volumen y caudal de líquidos, el cual permitió con más detalle conocer diversos procesos de calibración que aportaron a la mejora de dicha estrategia.
- Se logró entender e interpretar la tendencia de la curva de calibración para los transmisores de presión y las RTD's, para los cuales se permite realizar el ajuste a través del aseguramiento metrológico mediante la ecuación de la recta debido a su comportamiento lineal.
- Se observó al momento de realizar la estrategia de aseguramiento metrológico del "Diverter", que la estabilización de la balanza es clave en cada una de las pruebas ya que de esta depende una indicación correcta para los resultados que permiten la determinación de la constante del Diverter.
- Se comprobó que la constante del diverter es de vital importancia ya que esta da un aporte significativo al modelo matemático para la determinación de la masa de agua corregida colectada en el sistema y a la incertidumbre del mismo, es importante mencionar que dicha constante es propia de cada tanque y su variación depende de la infraestructura diseñada de cada uno de los diverter.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SICRON-DISEÑO ELECTRÓNICO, Manual Curso PAC Opto22 - Curso nivel básico I. Bogotá.
- [2] P. Ioannou and J. Sun. "Robust Adaptive Control". Prentice Hall. 1996.
- [3] OPTO 22. "PID configuration and tuning: Snap ultimate I/O learning center supplement". 2012.
- [4] K.Ogata. Ingeniería de control moderna, Tercera Edición.
- [5] 33 K. Ogata. "Sistemas de Control en Tiempo Discreto". 2da Edición. Pearson Education 1998.
- [6] Manual of Petroleum Measurement Standards. "Measurement of liquid hydrocarbons by Coriolis meters". Chapter 5 – Section 6. 2002.
- [7] International Organization of Standardization ISO, "ISO 4185 Measurement of liquid in closed conduits – Weighing method", International Standard, 1980.

# ANEXOS

Se encuentran en carpeta *Anexos* de este CD