

**PRÁCTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO
TECNOLÓGICO DEL GAS**

DIEGO FERNANDO DUEÑAS MORALES



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO- MECÁNICAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA
2009**

Anexo 1. INTERVENCIÓN EN EL PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN

Tabla Contenido

1. OBJETIVOS	4
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2. METODOLOGÍA DE LA INTERVENCIÓN EN EL PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN	5
3. INTRODUCCIÓN.....	6
4. ELEMENTOS MECÁNICOS.....	7
4.1 MODIFICACIÓN DE LA POLEA LOCA DE LOS DOS PISTONES (PARA FUNCIONAR CON RODAMIENTOS).....	7
4.2 MODIFICACIONES MECÁNICAS A LAS POLEAS DE LOS PISTONES PARA MEJORAR MONTAJE.....	7
4.3 FABRICACIÓN DE BASES PARA MONTAJE DE LOS ÓPTICOS.....	8
4.4 MEDICIONES DIMENSIONALES DE LOS TUBOS DEL PISTÓN GRANDE Y PEQUEÑO.....	8
4.5 MEDICIÓN DIMENSIONAL DE LOS DIÁMETROS DE LAS CUERDAS DEL PISTÓN GRANDE Y PEQUEÑO.....	12
4.6 PRUEBA DE EXCENTRICIDAD.....	13
4.7 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE.....	13
5. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS.....	16
5.1 CAMBIO DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DEL PISTÓN	16
5.1.1 Panel De Control	17
5.2 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES EMITIDAS POR EL MEDIDOR BAJO PRUEBA.....	19
5.3 INSTALACIÓN DE SENSORES ÓPTICOS, PARA CONOCER EN QUE INSTANTE DE TIEMPO EL PISTÓN SE ENCUENTRA EN LA POSICIÓN EXTREMA.	20
5.4 INSTALACIÓN SWITCH DE PRESIÓN CON EL FIN DE PROTEGER DE UNA SOBREPRESIÓN A LA ENTRADA DEL PISTÓN EN OPERACIÓN.....	20
5.5 PROGRAMA DE CONTROL	21
5.6 INTERFACE DE USUARIO DEL PATRÓN TIPO PISTÓN	21
6. PRUEBAS REALIZADAS	27

6.3.6	Calibración	14
6.4	ESTRUCTURA METROLÓGICA INTERNACIONAL	14
6.5	USO DEL ÍNDICE DE DESEMPEÑO DEL MEDIDOR.....	15
6.5.1	Error de indicación del medidor	16
6.5.2	Factor F del medidor.....	16
6.6	GENERALIDADES DE LOS PATRONES PARA GAS.....	17
6.6.1	Patrón primario tipo pistón.....	17
6.6.2	Patrón primario tipo campana gasométrica.....	19
6.7	PLATAFORMA OPTO 22	20
6.7.1	Opto Control	21
6.7.2	Estrategia	21
6.7.3	Chart	21
6.7.4	Controladores.....	21
6.7.5	Modulo E/S.....	22
6.7.1	Brain.....	22
6.7.2	Rack.....	22
6.7.3	Opto Display	22
7.	RESUMEN DE RESULTADOS.....	23
7.1	PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN.....	23
7.2	PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA	24
8.	SINOPSIS DE RESULTADOS.....	26
9.	CUADRO NO. 1 (Resultados de la práctica).....	28
10.	CUADRO No. 2 DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS	29
11.	IMPACTO.....	30
12.	Anexo1. INTERVENCIÓN EN EL PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN.....	30
13.	Anexo 2. PROYECTO OPTIMIZACIÓN DEL PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA	30
14.	BIBLIOGRAFÍA.....	31

Lista de Figuras

<i>Figura 1 Jerarquía de los patrones</i>	<i>13</i>
<i>Figura 2 Concepto de trazabilidad en las mediciones (Cadena de trazabilidad).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3 Estructura metrológica internacional</i>	<i>15</i>
<i>Figura 4 Curva Del índice de desempeño de un medidor de caudal</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5 Patrones para medición de gas.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 6 Patrón Tipo Pistón</i>	<i>18</i>
<i>Figura 7 Patrón Tipo Campana Gasométrica.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 8 Tecnología Clásica</i>	<i>20</i>
<i>Figura 9 Tecnología PAC.....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 10 Bloque de Opto Control.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11 Patrón Tipo Pistón</i>	<i>24</i>

Lista de figuras.

<i>Figura 1 Patrón Tipo Pistón</i>	6
<i>Figura 2 Modificación Polea Loca</i>	7
<i>Figura 3 Modificación poleas.</i>	7
<i>Figura 4 Bases para montaje de ópticos</i>	8
<i>Figura 5 Resultados diámetro interno VL-18.</i>	8
<i>Figura 6 Resultados diámetro interno VL-19.</i>	9
<i>Figura 7 Distancias y posiciones angulares para la medición de diámetros internos.</i>	10
<i>Figura 8 Medición de diámetro interno VL-18.</i>	10
<i>Figura 9 Medición de diámetro de las cuerdas.</i>	12
<i>Figura 10 Medición de la excentricidad de las poleas.</i>	13
<i>Figura 11 Fuentes de Incertidumbre.</i>	14
<i>Figura 12 Contribuciones a la estimación de incertidumbre para la constante K VL-18.</i> .	14
<i>Figura 13 Contribuciones a la estimación de incertidumbre para la constante K VL-19.</i> .	15
<i>Figura 14 Estructura de Control antes de la intervención</i>	16
<i>Figura 15 Estructura de Automatización y Control</i>	16
<i>Figura 16 Controlador R1</i>	17
<i>Figura 17 Panel de Control antes de la intervención</i>	18
<i>Figura 18 Panel de Automatización</i>	18
<i>Figura 19 Panel del MUT</i>	19
<i>Figura 20 Botón de PI "Posición Inicial"</i>	20
<i>Figura 21 Switch de Presión</i>	20
<i>Figura 22 Estrategia Pistón</i>	21
<i>Figura 23 Ventana "Verificación de Condiciones" Antes de la intervención del Pistón</i>	22
<i>Figura 24 Ventana "Verificación de Condiciones" luego de la intervención del Pistón</i>	22
<i>Figura 25 Ventana "Ingreso de Datos"</i>	22
<i>Figura 26 Ventana "Ejecutando Prueba</i>	23
<i>Figura 27 Plano Eléctrico Patrón Tipo Pistón</i>	24
<i>Figura 28 Calibración de Cámara Húmeda con Pistón</i>	27

1. LISTA DE ABREVIATURAS

- **Penc** Número de pulsos por revolución del *encóder*, *pulsos/revolución*
- **Dpe** Diámetro de la polea del *encóder*, mm
- **Dcab** Diámetro del cable o espesor de la cinta de sujeción, mm
- **Dc** Diámetro interno promedio del cilindro, mm
- **D_{cg}** Diámetro Interno del Cilindro Grande, mm
- **ALT** Altura del cilindro, mm
- **K_{pp}** constante del patrón tipo pistón pequeño, pulsos/mm
- **K_{pg}** constante del patrón tipo pistón grande, pulsos/mm
- **Kbell** constante de patrón tipo campana gasométrica, mm/pulsos
- **E/S** módulos de entradas y salidas
- **MUT** medidor bajo prueba (meter under test)
- **BIPM** La Oficina Internacional de Pesos y Medidas
- **Rev** revoluciones del encóder

Las unidades utilizadas en el presente informe tienen como referencia el sistema internacional del BIPM. "The International System of Units (SI)"

2. PRACTICA EMPRESARIAL EN LA CORPORACIÓN CENTRO DE DESARROLLO TECNOLÓGICO DE GAS

- Estudiante:
Diego Fernando Dueñas Morales
- Cargo en la corporación: Estudiante en Práctica.

- Profesional a Cargo:

Msc(c) Ing Electrónico. Jorge Andrés Reyes Valdés

Coordinador de Proyectos- Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de Gas

- Director de Practica:

MSC. Hernán Gonzales Acuña

3. DATOS GENERALES DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS

3.1 LOCALIZACIÓN

Kilómetro 2 vía al Refugio - Sede UIS Guatiguará
Piedecuesta - Santander - Colombia
TeleFax (57) (7) 6543800 - 6542266
administrador@cdtdegas.com
www.cdtdegas.com

3.2 MISIÓN DE TRABAJO DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS

Contribuimos con el bienestar social, el incremento de la competitividad en los sectores productivos y la preservación del medio ambiente, a través de la gestión y ejecución de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico, la formación de capital humano y la oferta de servicios especializados, fundamentados en la capacidad de innovación y ética de nuestros profesionales.

3.3 VISIÓN DE TRABAJO DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS

Seremos el centro de gestión, desarrollo tecnológico e investigación, líder a nivel nacional en la generación de soluciones innovadoras para las áreas de fluidos y energía, y reconocido en el entorno internacional, por su aporte a la diseminación de la metrología de fluidos.

3.4 SERVICIOS DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS

- Organismo de inspección
 - Transporte de gas
 - Gas para la industria y el comercio
 - Gas para el hogar
 - Gas para vehículos
- Servicios de Ingeniería
 - Optimización energética
 - Aseguramiento metrológico
 - Estimación de incertidumbre
 - Comercialización de medidores tipo cámara húmeda
 - Selección de equipos
 - Diseño y construcción de bancos de calibración de medidores de gas
- Centro de calidad
 - Laboratorios de ensayos hidrostáticos
 - Laboratorio de gasodomésticos
 - Laboratorio de equipos y accesorios
 - Detectores de fugas de gas combustible y CO
- Laboratorios de pruebas
 - Laboratorios de volumen y caudal para medidores de gas.
 - Se encuentran acreditados para medidores tipo cámara húmeda con un rango de $0.016 \text{ m}^3/\text{h} - 25 \text{ m}^3/\text{h}$
 - Pruebas Hidrostáticas a cilindros de gas.
 - Laboratorio de temperatura
 - Laboratorio de presión

4. JUSTIFICACIÓN

La práctica empresarial comprende un conjunto de actividades de formación integral, en la que se conjugan estudio y trabajo, es una experiencia organizada y supervisada cuya finalidad es familiarizar al futuro profesional con un entorno empresarial.

Entre las actividades desarrolladas se encuentran la selección de componentes eléctricos por ejemplo la selección de fuentes de voltaje que entre sus características técnicas soporten la carga de los diferentes instrumentos para su óptimo funcionamiento, diseño de planos eléctricos teniendo como principal objetivo la distribución en un espacio determinado de la instrumentación de control sin afectar la calidad de la señales, estudio de las ventajas entre sistemas operativos de automatización y control tales como Factory Floor y Prac Project buscando cual tiene las características técnicas necesarias para operar en la corporación, implementación de la plataforma OPTO 22 para el proceso de estudio y calibración en los patrón tipo pistón y campana gasométrica, calibración y desarrollo de ecuaciones de corrección a la lectura de señal de sensores de presión y temperatura.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Complementar mi formación académica con la aplicación de los conocimientos adquiridos para dirigirlos a la solución de problemas de ingeniería en la corporación CDT de gas.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Adquirir conocimientos en metrología de fluidos.
- Aprenden un lenguaje de programación para la automatización y control de procesos de calibración de medidores de gas dentro de la corporación.
- Conocer las diferentes tecnologías de medición de volumen y caudal de gas.
- Conocer los métodos de calibración de los sensores de las variables secundarias (temperatura y presión) en la medición de volumen y caudal de gas.
- Reconocer la importancia de la estimación de incertidumbre asociada a la calibración de medidores de gas.

6. MARCO TEÓRICO

En el presente marco teórico se encontrara la definición de metrología y algunos conceptos básicos que se encuentran en la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2194 "Vocabulario de términos Básicos y Generales en Metrología". Posteriormente se citan otras definiciones las cuales se describen con un mayor grado de detalle, como las clases de patrón metrológicos existentes, debido a la importancia que estos conceptos tienen en el tema objetivo de la presente práctica. A continuación se menciona una descripción del funcionamiento de los patrones para calibración de medidores de gas que se utilizan en la corporación CDT de GAS. Para finalizar se describe la estructura del software y hardware del sistema de automatización y control Opto 22. Esto con el fin de dar a conocer el campo de conocimientos en los cuales se desarrollo esta práctica empresarial.

6.1 DESCRIPCIÓN DE LA CORPORACIÓN CDT DE GAS.

La Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas es una entidad de derecho privado y participación mixta, legalmente constituida, con carácter Científico y Tecnológico, que hace parte del Sistema Nacional de Innovación (SNI). El CDT de Gas tiene como foco principal el sector del gas de nuestro país por tal motivo está regido por la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) la cual otorga la acreditación, basándose en los aspectos reglamentados por la norma ISO 17025, la cual aplica a laboratorios de calibración y ensayos. Uno de los retos que enfrenta la comunidad metrológica en este sector (flujo y volumen de gas), no solo a nivel nacional, sino internacional, es asegurar esta trazabilidad a todo nivel (caudales bajos y altos). Este reto se afronta desde el momento mismo de la concepción de los patrones primarios hasta la evaluación de los requerimientos nacionales en materia de flujo de gases y el planteamiento estrategias de intercomparación, que permitan detectar problemas y errores en la medición.

El CDT de GAS posee el único patrón primario en Colombia para medición de flujo de gas (tipo campana gasométrica) el cual está acreditado por la SIC y participó en una comparación realizada con IPT de Brasil (Febrero/2005). En el rango de los altos caudales, se diseñó y construyó un banco patrón secundario basado en la tecnología de medidores lineales tipo turbina, con aportes de COLCIENCIAS. Con este banco se soporta la medición de caudales entre 3,3 y 4800 m³/h, rango lo suficientemente amplio para cubrir el sector comercial e industrial. En el rango de bajos caudales se cuenta con el patrón tipo Pistón que tiene un rango de alcance de 0,005 a 30 dm³/min.

6.2 METROLOGÍA Y CONCEPTOS BÁSICO

El progreso de la humanidad está directamente relacionado con el progreso de las mediciones, ya que, estas son la base del comercio entre los pueblos y la herramienta fundamental para mejorar y garantizar la calidad de productos y servicios en el sector industrial. Con este panorama es evidente que las mediciones "correctas" tienen una importancia fundamental para los gobiernos, para las empresas y para la población en general, contribuyendo a ordenar y facilitar las transacciones comerciales. A menudo las cantidades y las características de un producto son resultado de un contrato entre el cliente (consumidor) y el proveedor (fabricante); las mediciones facilitan este proceso y por ende inciden en la calidad de vida de la población, protegiendo al consumidor,

6.2.11 Sensor:

Elementos de un instrumento de medición o de una cadena de medición que es afectado en forma directa por la magnitud por medir.

6.2.12 Incertidumbre:

Parámetro, asociado con el resultado de una medición, que caracteriza a la dispersión de los valores que en forma razonable se le podrían atribuir a la magnitud medible

6.2.13 Escala de un instrumento de medición:

Conjunto ordenado de trazos, junto con la enumeración correspondiente que forma parte de un dispositivo indicador de un instrumento de medición.

6.2.14 Rango de la indicación:

Conjunto de valores limitado por las indicaciones de los extremos.

Las siguientes definiciones se profundizan por la importancia en esta práctica

6.3 Patrón de Medición

Es una medida materializada, instrumento de medir, material de referencia o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud, a fin de transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición.

Los patrones pueden clasificarse inicialmente según sus cualidades metrológicas en:

6.3.1 Patrón primario

Patrón que es designado o reconocido ampliamente como un patrón que tiene las más altas cualidades metrológicas y cuyo valor es aceptado sin referencia a otros patrones de la misma magnitud. El concepto de patrón primario es igualmente válido para magnitudes de base (masa, temperatura, tiempo, etc.) o para magnitudes derivadas (densidad, presión, etc.)

6.3.2 Patrón secundario

Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud. Es obvio que la incertidumbre que manejan estos patrones es mayor que las de los primarios.

6.3.3 Patrón de transferencia

Patrón intermediario para comparar patrones primarios.

6.3.4 Patrones de trabajo

Patrón que se utiliza rutinariamente para calibrar o comprobar instrumentos de medición, en el sitio de trabajo.

La estructura jerárquica de los patrones la podemos describir como una pirámide en cuyo vértice tenemos el conjunto de patrones que corresponden a las unidades de base del SI. La segunda posición corresponde al conjunto de patrones nacionales. En el siguiente nivel se localizan los patrones de referencia, conjunto que sirve para preparar los patrones de trabajo a nivel operativo. El conjunto de patrones del nivel operativo (patrones de trabajo) constituye la base de la pirámide.

Figura 1 Jerarquía de los patrones

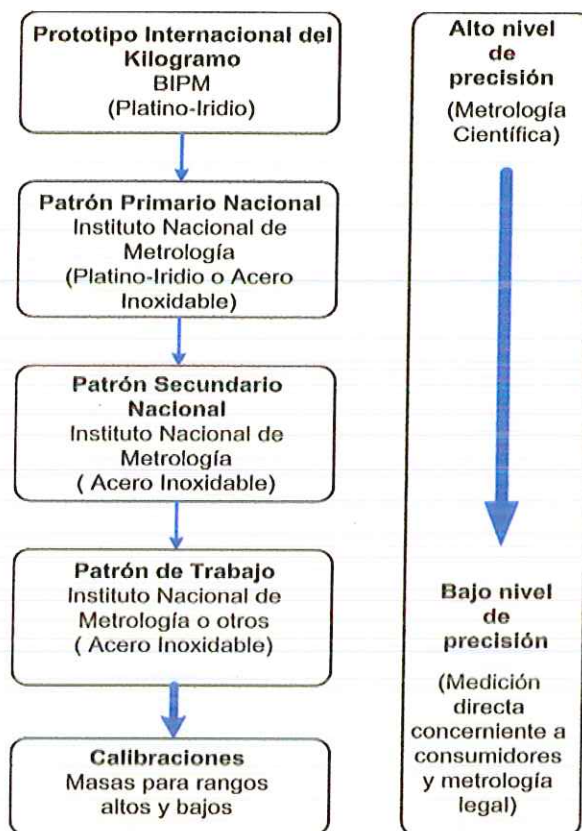


Fuente: Reyes Valdés, J. A. (2008). *Metrología Basica. Quinta Jornada Tecnica Internacional de Medicion de FLuidos* .

6.3.5 Trazabilidad

Un concepto importante en la metrología es el de la llamada trazabilidad. Por ello se entiende la propiedad de una medición o del valor de un patrón, de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas. La posibilidad de determinar la trazabilidad de cualquier medición descansa en el concepto y las acciones de calibración y en la estructura jerárquica de los patrones de la que ya hablamos.

Figura 2 Concepto de trazabilidad en las mediciones (Cadena de trazabilidad)



Fuente: Reyes Valdés, J. A. (2008). *Metrología Basica. Quinta Jornada Tecnica Internacional de Medicion de FLuidos* .

6.3.6 Calibración

Se entiende por calibración: un conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición, valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes a las magnitudes establecidas por los patrones. Algunos, indebidamente, le llaman calibración a un proceso de comprobación o verificación que permite asegurar que entre los valores indicados por un aparato o un sistema de medición y los valores conocidos correspondientes a una magnitud medida, los desvíos sean inferiores a los errores máximos tolerados.

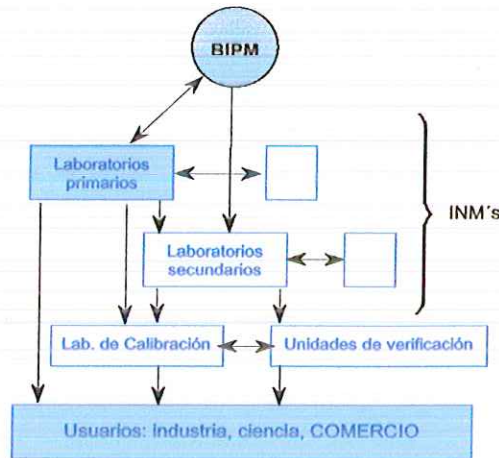
6.4 ESTRUCTURA METROLÓGICA INTERNACIONAL

A nivel internacional existe un orden establecido que clasifican los diferentes laboratorios de metrología existentes. La cadena de instituciones encargadas de operar el SI está encabezada por la La Oficina Internacional de Pesos y Medidas BIPM, por sus siglas en ingles, le siguen los Laboratorios Nacionales de Metrología, a continuación están los Laboratorios de Calibración y por último los Laboratorios de Trabajo.

Los laboratorios nacionales de metrología, custodian los patrones nacionales y tienen la responsabilidad de diseminar las unidades SI a los laboratorios acreditados de calibración de sus respectivos países. Los laboratorios de calibración aseguran que los equipos de medición así como los patrones de referencia y de trabajo estén acordes con los patrones nacionales. Los laboratorios de ensayos, en el nivel de trabajo, son los encargados de evaluar la conformidad de productos que van a ser certificados. Para sus trabajos, utilizan patrones de referencia, que son calibrados contra los patrones nacionales del estrato anterior.

Finalmente, encontramos las organizaciones o instituciones que utilizan los patrones de trabajo, empleados por la industria y otros sectores, los cuales suelen ser calibrados contra patrones de referencia y éstos a su vez contra patrones nacionales.

Figura 3 Estructura metroológica internacional



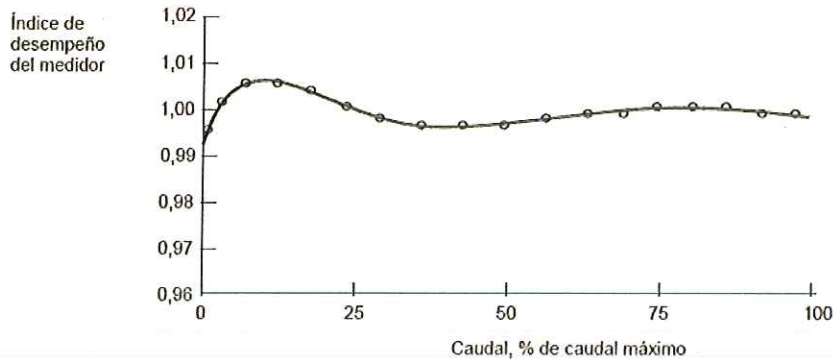
Fuente: Reyes Valdés, J. A. (2008). *Metrología Basica. Quinta Jornada Tecnica Internacional de Medicion de FLuidos* .

6.5 USO DEL ÍNDICE DE DESEMPEÑO DEL MEDIDOR

Generalmente el resultado de la calibración de un medidor de volumen o caudal de gas es el indicador de desempeño del medidor, el cual refleja la cercanía de su indicación con el valor convencionalmente verdadero.

Cuando se habla del índice de desempeño del medidor lo ideal es la utilización de un gráfico que muestre claramente cualquier pequeño desvío del comportamiento ideal del medidor. Por lo tanto, es común graficar algún tipo de índice de desempeño del medidor contra el caudal, o contra cantidades comparativas como por ejemplo el número de Reynolds (ver Figura 4).

Figura 4 Curva Del índice de desempeño de un medidor de caudal



Fuente: Kaszuto Kawakita, *Conceptos claves sobre medición de caudal de fluidos*.

Existen varios tipos de índice de desempeño, los más usados en la calibración de medidores de gas son el error de indicación del medidor y el factor F del medidor.

6.5.1 Error de indicación del medidor

El término error del medidor, ε , es utilizado en conjunto con medidores volumétricos cuya indicación se da directamente en unidades de volumen, principalmente medidores de desplazamiento. El error se define como:

$$\varepsilon = \frac{V_i - V_t}{V_t}$$

En términos de porcentaje:

$$\varepsilon[\%] = \frac{V_i - V_t}{V_t} * 100$$

Donde: V_t e V_i indican, respectivamente, el volumen convencionalmente verdadero y el indicado. Generalmente, el error se expresa en términos de porcentuales respecto al valor convencionalmente verdadero.

6.5.2 Factor F del medidor

El factor del medidor, F, es un término aplicado principalmente a medidores utilizados para medir volumen total y, especialmente, con medidores tipo turbina y desplazamiento positivo.

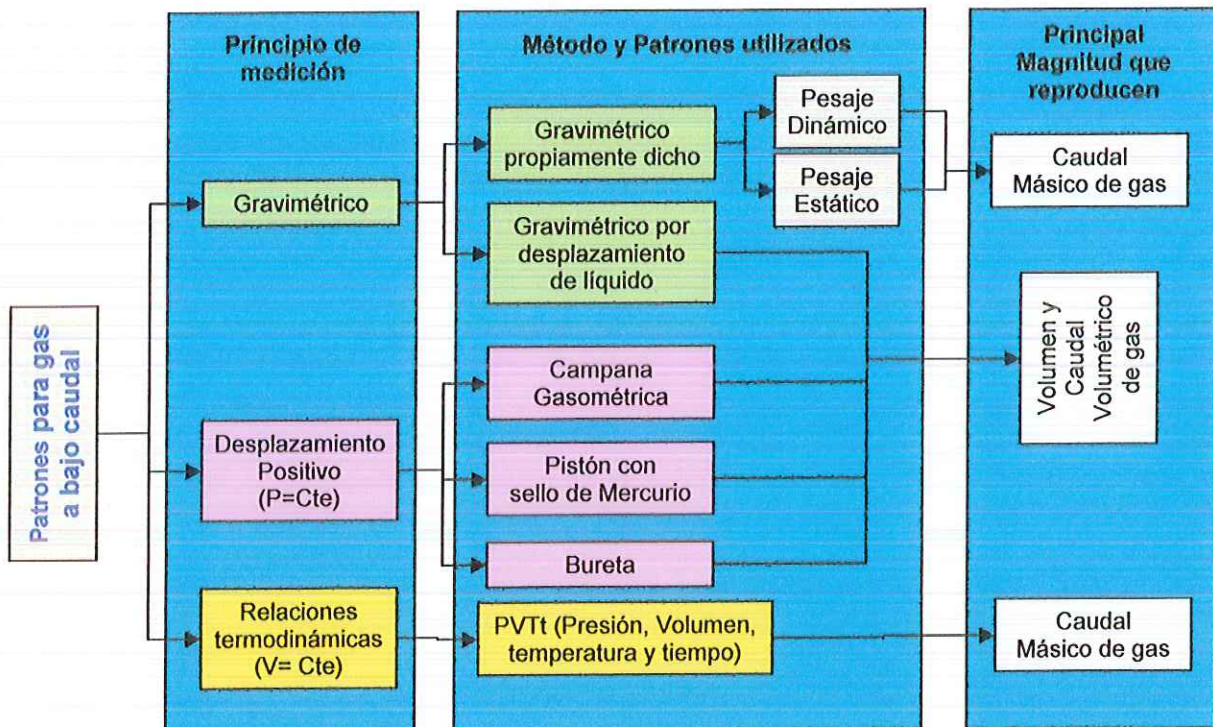
$$F = \frac{V_t}{V_i}$$

Este representa el factor por el cual el volumen indicado por el medidor debería multiplicarse a fin de obtener el "volumen verdadero".

6.6 GENERALIDADES DE LOS PATRONES PARA GAS

Cuando nos referimos a patrones primarios de flujo de gas existen patrones para reproducir volumen, caudales másicos y volumétricos de gas. Dependiendo de su principio de operación, algunos poseen la capacidad de reproducir las tres magnitudes, ya que los patrones de volumen son simples totalizadores que permiten cuantificar el volumen de gas transferido o recibido y que solo requieren de la integración de la magnitud tiempo para obtener el caudal volumétrico y de una adecuada estación de estado que permita obtener el caudal másico. En la siguiente grafica se muestra la clasificación de los patrones para medición de flujo de gas:

Figura 5 Patrones para medición de gas



Fuente: Autor

6.6.1 Patrón primario tipo pistón

Una de las técnicas más antiguas y más comúnmente usadas para medición de gas es el patrón tipo pistón. Este patrón consiste de un tubo de vidrio de diámetro interno determinado (de alta precisión) que contiene dentro un pistón de plástico ligeramente menor en diámetro. Una acanaladura horizontal alrededor del pistón retiene mercurio, de tal forma que exista poca fricción entre el tubo y el pistón, y sirva de sello. Su principio de operación en calibración se basa en la medición del volumen de gas acumulado o entregado por el conjunto tubo pistón a unas condiciones de temperatura y presión medidas que dependiendo de la forma de operación (Descenso o Ascenso) ya había pasado o pasara por el medidor bajo prueba, de este proceso se obtiene un porcentaje de

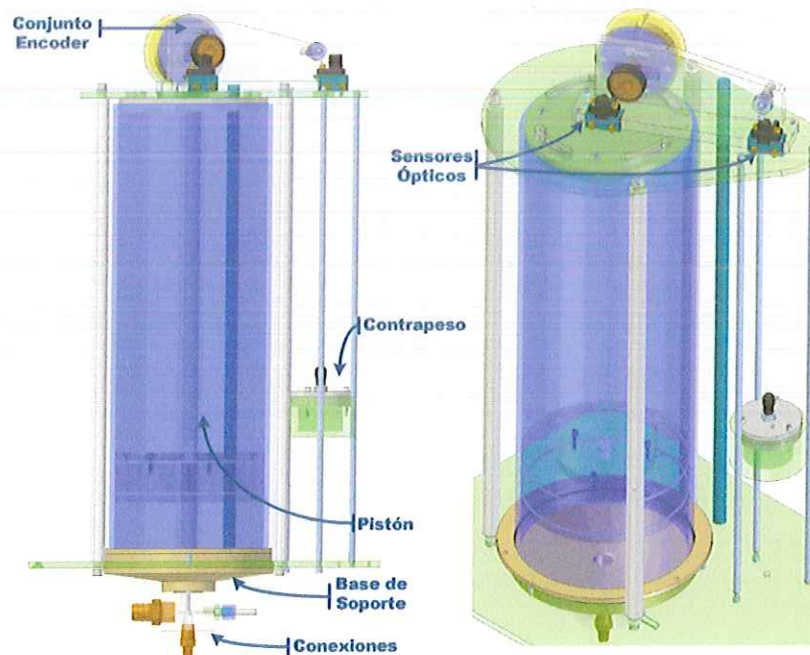
error entre los volúmenes del pistón y medidor bajo prueba o MUT por sus siglas en ingles, meter under test.

La detección y cuantificación del desplazamiento vertical del pistón consiste en un codificador electrónico llamado *encóder*; los pulsos emitidos por el *encóder* y con ayuda de la constante de operación del pistón¹ podemos conocer el volumen contenido dentro de él, además de esto el sistema cuenta con poleas, contrapesos y un cable de unión. La función del contrapeso es mantener en contacto constante el cable con la polea, para que no ocurran deslizamientos que causen errores en la medición.

En relación al funcionamiento, los patrones tipo pistón se pueden clasificar de acuerdo al sentido de desplazamiento del pistón durante su operación, en ascendente o descendente Operando en forma ascendente, el patrón tipo pistón puede calibrar medidores que no requieran medir la caída de presión para estimar el caudal (cámaras húmedas, diafragmas, turbinas, etc), ya que para los medidores que lo requieren (elementos de flujo critico como orificios y boquillas sónicas) se presenta el inconveniente de mantener una presión de entrada estable con el fin de obtener un buen grado de repetibilidad.

Cuando se opera el patrón en forma descendente se requiere que este ejerza una presión sobre el medidor de tal forma que se obtenga flujo a través de este, para los medidores del tipo flujo critico, esta presión debe ser suficiente para producir una diferencia de presión que garantice el bloqueo o condición de flujo critico y la obtención de resultados repetibles, por este motivo es necesario en estos casos utilizar una bomba de vacío que permita generar la caída de presión necesaria para el correcto funcionamiento de este tipo de medidores.

Figura 6 Patrón Tipo Pistón



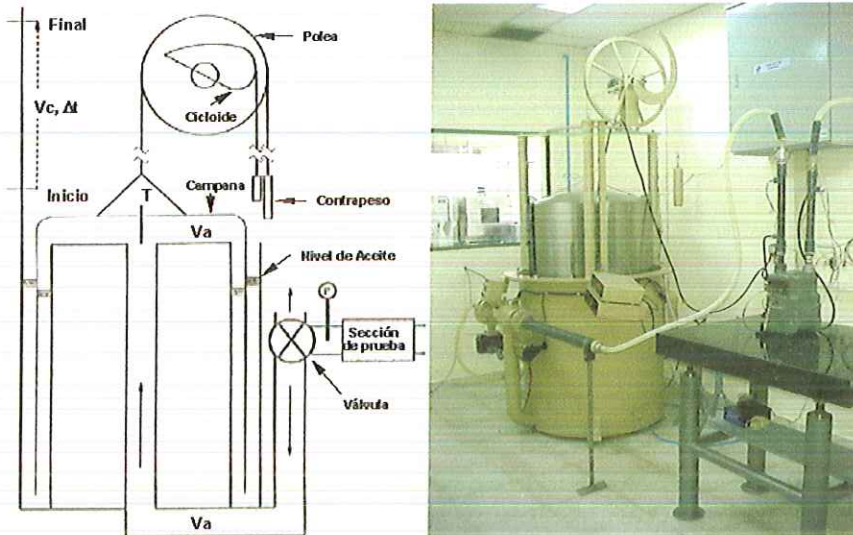
Fuente: CDT de GAS, Manual de operación y mantenimiento patrón tipo pistón.

¹ Constante de Operación: es la relación entre los pulsos emitidos por el encóder y el volumen interno del patrón.

6.6.2 Patrón primario tipo campana gasométrica

Este patrón consiste de un tanque que rodea un pozo seco para formar una doble pared. Su funcionamiento se basa en la determinación del volumen de aire desplazado en la parte interna de un cilindro invertido (campana), El volumen anular formado por las dos paredes se llena casi completamente con un aceite de baja presión de vapor que sirve de sello.

Figura 7 Patrón Tipo Campana Gasométrica



Fuente: CDT de GAS, procedimiento técnico de operación del patrón Campana Gasométrica

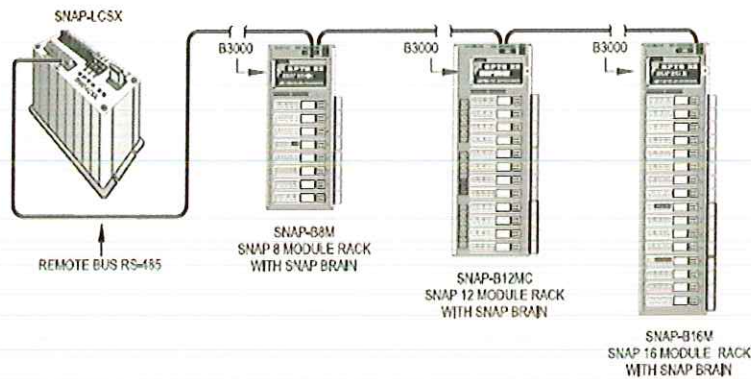
En medio de esta área anular se introducen las paredes de un cilindro metálico abierto en el fondo y sellado por un domo en su parte superior, este se suspende por medio de un cable a un conjunto de poleas y contrapesos. El contrapeso mayor, ligado a una polea circular, sirve para balancear el peso de la campana, su masa se ajusta de manera que se mantenga una presión determinada al interior de la campana. Otro contrapeso de menor tamaño se suspende de una polea con perfil cicloidal, proyectado para compensar la fuerza de flotación que el aceite ejerce sobre el volumen de la campana inmerso en el fluido, conforme esta se desplaza verticalmente. De esta forma se logra mantener la presión del gas constante al interior de la campana. Un juego de rodillos y varillas guías mantienen la campana concéntrica en el tanque y la dotan de estabilidad lateral.

El sistema para la cuantificación del desplazamiento de la campana consiste en un *encóder* acoplado a una pequeña polea montada sobre un brazo oscilante que entra en contacto con la polea principal de la campana que gira por acción de la fuerza de fricción generada a partir de la carga aplicada por un resorte de torsión. Este dispositivo envía pulsos de acuerdo a la rotación de su eje, de esta forma puede derivarse el desplazamiento de la Campana Gasométrica y por consiguiente su volumen y caudal de suministro es cual es comparado con el volumen o caudal de MUT cuando se realiza una calibración.

6.7 PLATAFORMA OPTO 22

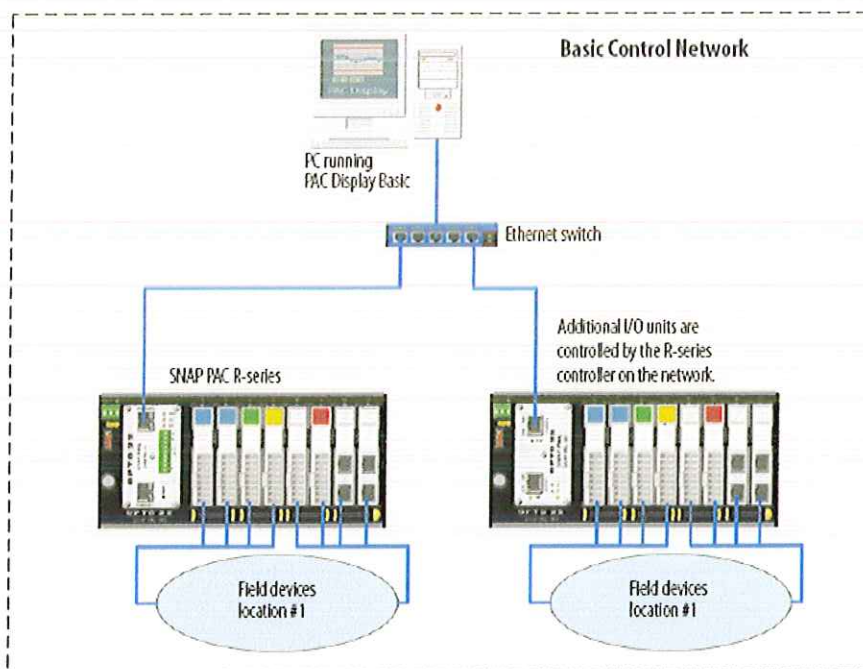
El Sistema de Automatización y Control de los diferentes bancos de calibración de la corporación CDT de Gas se basa en la Plataforma de automatización OPTO 22, la cual se divide en dos tecnologías, clásicas y PAC.

Figura 8 Tecnología Clásica



Fuente: OPTO 22

Figura 9 Tecnología PAC



Fuente: OPTO 22

Las diferencias entre las tecnologías radica en, la velocidad de transmisión y procesamiento de datos, la eliminación un brain de comunicación, el software usado, factory floor para la clásica y PAC Project para la tecnología PAC. Haciendo de la tecnología PAC una herramienta útil para la corporación CDT de Gas.

6.7.1 Opto Control

Es un lenguaje de programación desarrollado por OPTO 22 y basado en diagramas de flujo, este permite el desarrollo de software para automatización industrial utilizando hardware de control (Controladores) de OPTO 22.

A continuación se presentan los aspectos y partes fundamentales necesarias para automatizar un sistema utilizando tecnología OPTO 22.

6.7.2 Estrategia

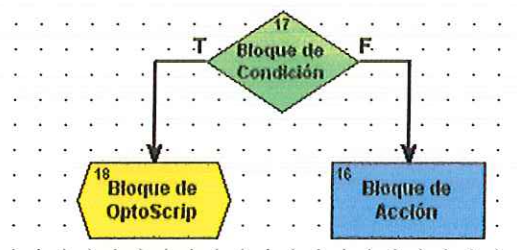
El Software creado usando Opto Control es llamado estrategia. Esta contiene todas las definiciones e instrucciones necesarias para el proceso de control. Está compuesta por un conjunto de diagramas de flujo o charts.

6.7.3 Chart

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. Los charts están constituidos por bloques conectados por flechas, que indican como fluye el proceso (Ver 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.
- Bloques de OptoScript: Bloques en forma hexagonal que contienen lenguaje de programación Optoscript. Estos bloques pueden tener varias entradas pero solo una salida.

Figura 10 Bloque de Opto Control



Fuente: OPTO 22

6.7.4 Controladores

Los controladores son dispositivos electrónicos que proveen la inteligencia requerida para la automatización. Usando Opto Control, se puede crear un conjunto de instrucciones (un software) que le indique al controlador como debe trabajar cada aspecto del proceso. Opto control también permite descargar el software de programación a un controlador de Opto 22 y este lo ejecuta como una aplicación permanente. Puesto que el conjunto de

instrucciones es almacenado en la memoria interna del controlador este puede ejecutar el programa mientras el computador está apagado o es utilizado para otra aplicación.

6.7.5 Modulo E/S

Un dispositivo que provee una interfaz entre las señales recibidas del "Mundo Real", dispositivos de campo y señales lógicas usadas en computadores y controladores.

6.7.1 Brain

Un dispositivo encargado de comunicar o ser puente entre el controlador y las los Módulos E/S.

6.7.2 Rack

Es el dispositivo físico de comunicación entre el controlador y los módulos E/S,

6.7.3 Opto Display

Es un paquete que forma parte del software para automatización industrial de Opto 22, utilizado para crear interfaces hombre-máquina (IHM), o interfaces de operador para monitorear sistemas de control. Este se puede utilizar para crear una IHM que lleve a cabo el monitoreo de una estrategia de Opto Control que sea ejecutada por un controlador industrial Opto 22 permitiendo al operador visualizar en tiempo real la información acerca de la ejecución de las diferentes partes del sistema de control.

7. RESUMEN DE RESULTADOS

7.1 PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN

El principal problema que tenía el patrón era su controlador y brain puesto que se encontraban averiados lo cual llevo a usar, para procesos de calibración el controlador y brain de otro banco de calibración.

Para dar solución a este inconveniente se realizó un estudio de las ventajas y desventajas entre reemplazar el controlador y brain por otro de iguales características técnicas o de implantar un controlador de última tecnología como lo es el R1. Llegando a la conclusión que lo más adecuado era utilizar un controlador R1. Esto debido a que el R1 presenta la ventaja de comunicarse vía Ethernet, aumenta velocidad de comunicación con respecto al uso de la comunicación RS-232 usada por el controlador LCSX-PLUS. Adicionalmente posee una velocidad de procesamiento mayor y la capacidad de comunicarse con los módulos (SNAP) E/s sin la necesidad de usar un Brain. Adicionalmente este nuevo hardware es compatible con los módulos E/S que ya tenía el patrón, permitiendo reutilizarlos con lo cual se reducen los costos asociados a los a la intervención.

Otros cambios realizados a este patrón involucraron su parte mecánica. La reducción de la longitud del pistón pequeño disminuyendo su volumen efectivo con lo cual se optimizan los tiempos de calibración. El cambio en la forma de acople entre el eje y la polea que transmiten el movimiento al *encóder*, reduciendo el riesgo de resbalamiento entre dicho acople al cambiar de dos componentes eje-polea a un eje-polea integrado, se calculó la nueva constante de operación.

En cuanto a la parte electrónica se determinó el cambio y la redistribución de los componentes de hardware del sistema de control y adquisición de datos. Con esto se optimizó el espacio disponible en el tablero de control el cual está compuesto por las fuentes de alimentación, cableado, sensores, rack de control con las E/S y el controlador R1 y las electroválvulas.

La instalación de sensores ópticos para indicar las posiciones extremas de los pistones fue otro aporte importante, ya que esto se evitó que fuera necesaria la verificación visual por parte de operador de la posición final e inicial del pistón. Con este cambio se aumentó el nivel de automatización del banco y se disminuyó el riesgo de falla o daño en la operación de patrón.

En paralelo con el trabajo realizado con el hardware se desarrollaron estrategias e interfaces de usuario, con ayuda de los operarios directos del pistón para que sean de fácil operación y entendimiento.

Para el sistema de calidad de la corporación CDT de Gas, se dejó elaborar manuales de operación, del procedimiento técnico de calibración, de las interfaces de usuario y de mantenimiento de todo el patrón.

Por último luego de los cambios anteriormente mencionados se puso bajo prueba el patrón en un proceso de calibración a una cámara húmeda, por parte de los profesionales de calibración y ensayos de la corporación.

Figura 11 Patrón Tipo Pistón



Fuente: Autor

Para observar los cambios realizados en este patrón de forma detallada remitirse al Anexo 1.

7.2 PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA

Con el fin de mejorar la operatividad y reducir la incertidumbre de la calibración de medidores utilizando la campana gasométrica y obtener la reacreditación del patrón se realizaron pruebas de diagnóstico del estado y determinación de cambios al software y hardware necesarios.

Dentro de las pruebas realizadas se encuentran, verificación del funcionamiento del *encóder*, evaluación del resbalamiento y excentricidad entre las poleas de transmisión de movimiento, modificación de las estrategias de calibración para mejorar el tiempo de establecimiento de las temperaturas.

Las pruebas dieron a conocer que la mayor fuente de incertidumbre está asociada con la constante de operación la cual se encuentra ligada a la cantidad de pulsos emitidos por el *encóder*, para solucionar este problema se estudió el cambio del *encóder* por otro con una mayor cantidad de pulsos por vuelta, pasando de un *encóder* en cuadratura de 5000 pulsos por vuelta a uno de 1'000.000 pulsos por vuelta. La posición del *encóder* fue afectada eliminando la polea a la cual estaba ligado el *encóder* y cambiando su posición a un acople directo a la polea principal.

Por otro lado el patrón tipo Campana Gasométrica de la corporación CDT de GAS cuenta con la desventaja de estar controlador por un hardware que se encuentra fuera del mercado. Esto llevó a la necesidad de estudiar y proponer una nueva tecnología y estructura para el sistema de control y adquisición de datos. Como resultado de este análisis se propuso el del controlador G4LC32ISA y el Brain B3000 que posee la campana por controladores de última tecnología (R1 y R2), cada uno encargado de funciones específicas dentro del control de la operación del patrón y la adquisición de datos de las diferentes señales provenientes de los instrumentos.

Con la implementación de cambio propuesto no solo evitan los inconvenientes propios de una tecnología no disponible en el mercado por obsolescencia, sino que también se mejoran las capacidad de comunicación al utilizar sistemas que realizan sus comunicaciones a través de Ethernet y los tiempos de respuesta del sistema al utilizar controladores con mayor capacidad de procesamiento y dedicados a labores específicas.

Para observar los cambios realizados en este patrón de forma detallada remitirse al Anexo 2.

8. SINOPSIS DE RESULTADOS

Los trabajos realizados en el marco de esta práctica empresarial se enfocaron al área de mediciones, instrumentación y automatización. En particular se diseñaron y ejecutaron pruebas para la identificación de mejoras en los patrones primarios para la calibración de medidores de gas del Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas. Con los resultados de estas pruebas se propusieron y ejecutaron mejoras sobre el patrón primario tipo pistón. En particular se diseñaron y elaboran nuevos elementos para el sistema de transmisión de movimiento; y se diseño e implemento un nuevo sistema de control y adquisición de datos (hardware y software) enfocado hacia mejorar de operatividad del patrón y la optimización de los recursos económicos a través del aprovechamiento de muchos de los elementos con que ya contaba el banco.

Para el caso de la campana gasométrica fue necesario implementar un conjunto de estrategias e interfaces de usuario en sistema de control y adquisición de datos para llevar a cabo las pruebas de operación ya mencionas. Como resultado de estas pruebas se identifico la necesidad de la modificación del sistema de transmisión del movimiento. Uno de los primeros requerimientos identificados fue el uso de un nuevo encóder. Este encóder fue seleccionado y adquirido de acuerdo con el análisis de característica técnicas que este debía cumplir.

Por otro lado se realizo el diseño, selección y adquisición del nuevo hardware para el sistema de adquisición de datos. Esto debido a que se observo que el sistema con el cual opera actualmente el banco es obsoleto y puede causar la inoperatividad del patrón por falla en el Computador asignado a dicho banco de calibración.

En términos generales con el trabajo realizo en esta práctica se completó la formación adquirida en la universidad autónoma de Bucaramanga como ingeniero mecatronico a través de la aplicación en el diseño, implementación, compra y selección de sistemas de automatización y control junto con el diseño y desarrollo de pruebas de operación para los banco del CDT de GAS de los conocimientos adquiridos en el transcurso de dicho programa de pregrado. También se dio un aporte al objetivo del CDT de GAS de la acreditación y reacreditacion de los patrones primarios ya mencionados.

Abstract

The work done in the context of this practice is focused in the area of measurement, instrumentation and automation. In particular tests were designed and implemented for the identification of improvements in primary standards for calibration of gas meters at CDT de GAS. With the results of these tests were proposed and implemented improvements to the primary standard piston type. In particular will design and create new elements for motion transmission system, and design and implement a new system of control and data acquisition (hardware and software) aimed to improve the operational capability of the pattern and the optimization of economic resources through the use of many of the elements it already had the bank.

In the case of the bell prove was necessary to implement a set of strategies and user interfaces in system control and data acquisition to conduct operational tests already mentioned. As a result of these tests will identify the need for modifying the motion transmission system. One of the first requirements was identified using a new encoder.

This encoder was selected and acquired in accordance with the characteristic analysis techniques that had to comply.

On the other hand was carried out the design, selection and acquisition of new hardware for data acquisition system. That's because it was observed that the system under which the bank currently operates is outdated and can cause inoperability of the pattern by any failure of computers allocated to the calibration bench.

In general terms the work done in practice is completed the training received at the UNAB for a Mechatronic engineering through the application in the design, implementation, purchase and selection of automation and control systems along with the design and development operation test for CDT de GAS Standards of knowledge acquired during the undergraduate program. There was also a contribution to the CDT GAS accreditation and reaccreditation of the primary standards already mentioned.

9. CUADRO NO. 1 (Resultados de la práctica)

OBJETIVO	RESULTADOS ESPERADOS	RESULTADOS OBTENIDOS	No. DE ANEXO SOPORTE	OBSERVACIONES
Mejorar las operaciones y los sistemas de control y adquisición de datos de los patrones primarios de la corporación CDT de Gas.	Determinar las mayores fuentes de incertidumbre de los patrones primarios para reducir al máximo y así aumentar su confiabilidad como patrones dentro de la corporación CDT de gas.	<ul style="list-style-type: none"> Se desarrollaron una serie de pruebas en el patrón primario tipo Campana Gasométrica, se obtuvieron una serie de mejoras pero se tiene pendiente su intervención. El patrón primario tipo Pistón, se intervino por completo, con cambios en su parte mecánica y cambio de tecnología de automatización y control. 	2	Los programas de control y los cálculos para la estimación de la incertidumbre son de uso privado de la corporación CDT de GAS
			1	

10. CUADRO No. 2 DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

ACTIVIDADES	COMPROMISO ADQUIRIDO	LOGROS	ANEXO SOPORTE
METROLOGÍA BÁSICA	4 horas	Conceptos básicos para la medición de fluidos.	CDT de Gas
ASEGURAMIENTO METROLÓGICO	4 horas	Normas Existentes	CDT de Gas
PRESIÓN	3 horas	Concepto, propiedades, sensores	CDT de Gas
CONCEPTOS BOQUILLAS SÓNICA	2 horas	Principio de funcionamiento de las boquillas sónicas.	CDT de Gas
TALLER ESTIMACIÓN DE INCERTIDUMBRE	4 horas	Parámetros fundamentales para la estimación de incertidumbre	CDT de Gas
OPTO 22	10 horas	Introducción al software y hardware Opto 22	CDT de Gas
PLANO ELÉCTRICO CAMPANA GASOMÉTRICA	2 semana	Desarrollo planos de conexiones para la instrumentación y control de la campana gasométrica	ANEXO 2
PLANO ELÉCTRICO PISTÓN	3 semanas	Desarrollo planos de conexiones eléctricas para la instrumentación y control del patrón tipo Pistón	ANEXO 1
ESTRATEGIAS PARA PRUEBAS EN LA CAMPANA GASOMÉTRICA	4 semanas	Desarrollo de las estrategias para realizar las diferentes pruebas en la campana gasométrica	ANEXO 2
PRUEBAS EN EL PATRÓN TIPO PISTÓN	7 semanas	Desarrollo de las estrategias para calibración de medidores de volumen con el patrón tipo Pistón	ANEXO 1
ANALISIS DE RESULTADOS	5 semanas	Conclusiones de los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a la campana gasométrica y el pistón	Anexo 1 y 2
ELABORACIÓN DE MANUALES	2 semanas	Desarrollo de los manuales de operación, mantenimiento, conexiones y puesta en marcha del patrón tipo pistón	CDT de Gas

11. IMPACTO

La disminución de la incertidumbre asociada al proceso de calibración de un medidor con el patrón primario tipo pistón fue el mayor cambio realizado a dicho patrón, esto debido al cambio en el controlador encargado de las estrategias de calibración y al rediseño de las poleas asociadas al encóder, seguido de esto el cambio en la interface de usuario, que con ayuda del profesional encargado del laboratorio del CDT de gas, que en últimas son los operarios del patrón, se rediseñaron para dar un mejor ambiente de trabajo en una calibración, la implementación de los finales de carrera para disminuir el riesgo de coque del pistón en sus extremos y el *switch* de presión, el cual nos advierte de una sobrepresión en la entrada de flujo hacia el pistón, ayudan en la protección del sello de mercurio del pistón en operación, por último la implementación de un panel encargado de recibir las señales de medidores bajo prueba con salida de pulsos pasiva o activa aumenta el rango de medidores que podrían ser calibrados con el patrón.

Por parte del patrón tipo Campana Gasométrica, el desarrollo de las pruebas nos indicaron el estado actual del patrón y sus mayores fuentes de incertidumbre, de los resultados obtenidos se propusieron una serie de cambios los cuales están pendientes por realizarse, entre ellos el cambio del encóder encargado de generar los pulsos para conocer el volumen de gas acumulado en el patrón, afectando directamente en el valor de la constante de operación de la campana y la implementación de nueva tecnología para el control de estrategias de calibración y la recepción de las señales de los diferentes sensores.

12. Anexo1. INTERVENCIÓN EN EL PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN

13. Anexo 2. PROYECTO OPTIMIZACIÓN DEL PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA

14. BIBLIOGRAFÍA

- 1 Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificación. (1997). *Norma Tecnica Colombia NTC 2194*.
- 2 Altendorf, M. (2004). Medicion de Caudal. In M. Altendorf, *Medicion de Caudal* (pp. 21-24). Endress + Hauser.
- 3 Association, A. G. (Diciembre 1999). *Gas Measurement Manual, Meter Proving*.
- 4 Boyes, W. (2003). *Instrumentation Reference Book*. United States of America: Butterworth & Heinemann.
- 5 Garcia, L. (2008). Introduccion a la Estimacion de Incertidumbre. *Quinta Jornada Tecnica Internacional de Medicion de Fluidos* .
- 6 OPTO 22. (2009, AGOSTO 14). *SNAP Analog Input Modules Data Sheet*. Retrieved from SNAP Analog Input Modules Data Sheet:
http://www.opto22.com/site/documents/doc_drilldown.aspx?aid=1708
- 7 OPTO 22. (2009, AGOSTO 19). *SNAP Analog Output Modules Data Sheet*. Retrieved from SNAP Analog Output Modules Data Sheet:
http://www.opto22.com/site/documents/doc_drilldown.aspx?aid=1709
- 8 OPTO 22. (2009, AGOSTO 6). *SNAP Digital Input Modules Data Sheet*. Retrieved from SNAP Digital Input Modules Data Sheet:
http://www.opto22.com/site/documents/doc_drilldown.aspx?aid=1664
- 9 OPTO 22. (2009, SEPTIEMBRE 9). *SNAP PAC R-Series Controller Data Sheet*. Retrieved from SNAP PAC R-Series Controller Data Sheet:
http://www.opto22.com/site/documents/doc_drilldown.aspx?aid=2689
- 10 OPTO 22. (2009, SEPTIEMBRE 9). *SNAP PAC R-Series Controllers User's Guide*. Retrieved from SNAP PAC R-Series Controllers User's Guide:
http://www.opto22.com/site/documents/doc_drilldown.aspx?aid=2772
- 11 Padden, H. (2003). *Development of 2.0% High-Speed dry Piston Prover*. USA: Bios International Corporation.
- 12 Reyes Valdés, J. A. (2008). Metrologia Basica. *Quinta Jornada Tecnica Internacional de Medicion de FLuidos* .
- 13 *SNAP Digital Output Modules Data Sheet*. (2009, NOVIEMBRE 19). Retrieved from SNAP Digital Output Modules Data Sheet:
http://www.opto22.com/site/documents/doc_drilldown.aspx?aid=1742
- 14 Tapias Chavez, E. (2008). Conceptos Claves en la Medicion de Fluidos. *Quinta Jornada Tecnica Internacional en la Medicion de Fluidos* .
- 15 Tapias Chavez, E. (2008). Patrones Utilizados en la Calibracion de Medidores de Volumen y Caudal de Fluidos. *Quinta Jornada Tecnica Internacional de Medicion de Fluidos* .
- 16 The Instrumentation, systems and automation society. (2001). *Flow Measurement*. United States of America: ISA.
- 17 The International System of Units, 8th edition. (2006). La Oficina Internacional de Pesos y Medidas(BIPM)
- 18 Kawakita, kazuto. Conceptos Claves Sobre Medición de Caudal de Fluidos. CDT de GAS.

ANEXOS

Lista de tablas

Tabla 1 Distancias establecidas para la medición de los cilindros.....	9
Tabla 2 Resultados medición diámetro interno VL-018.....	11
Tabla 3 Resultados medición diámetro interno VL-019.....	11
Tabla 4 Resultados VL-018.....	12
Tabla 5 Resultados VL-019.....	12
Tabla 6 Variables modelo matemático.....	13
Tabla 7 Comparación de Controladores Opto 22.....	17
Tabla 8 Hardware de Automatización Patrón Tipo Pistón	26
Tabla 9 Hardware de Automatización Patrón Tipo Pistón II	26

1. OBJETIVOS

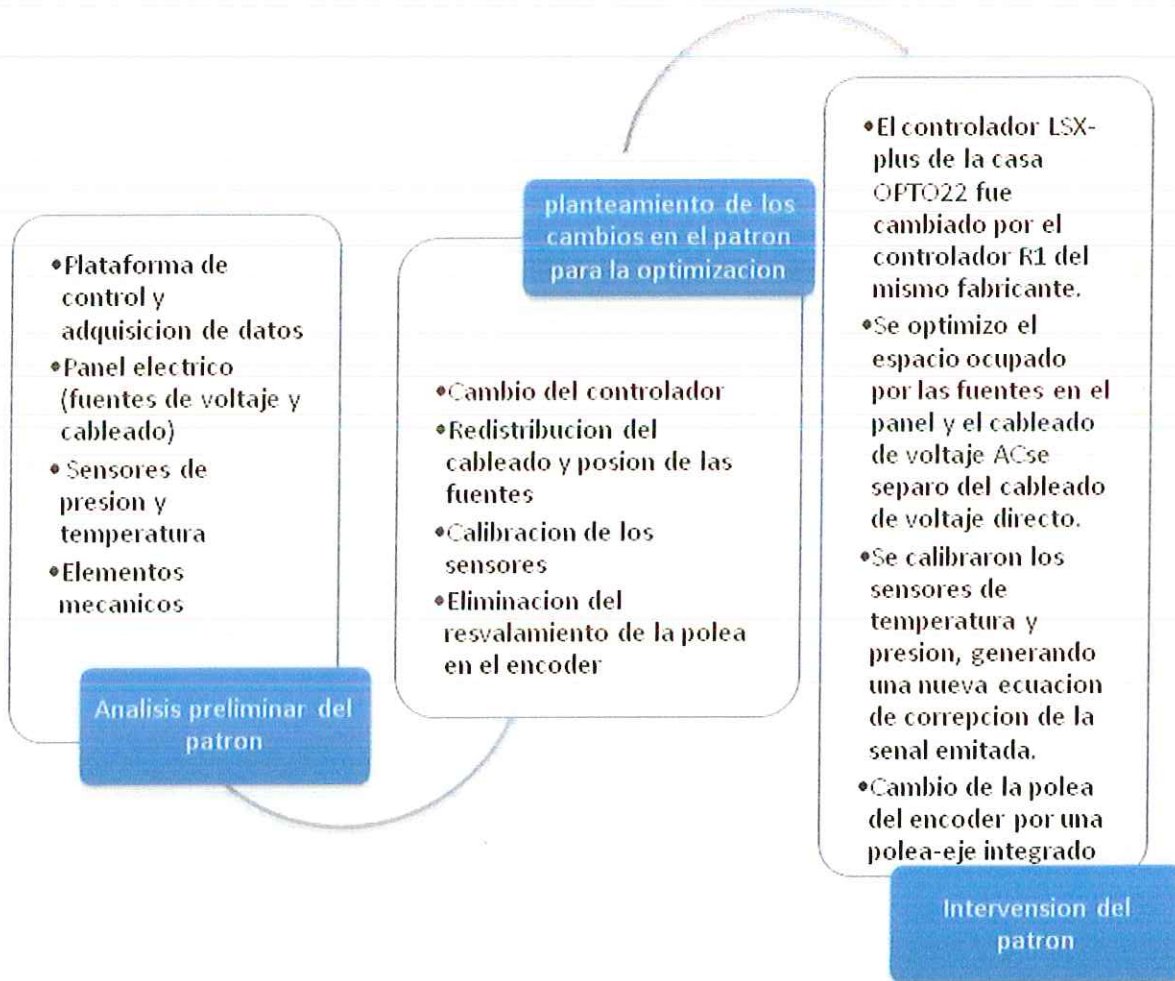
1.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar las operaciones y los sistemas de control y adquisición del patrón primario tipo Pistón de la corporación CDT de Gas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Programar estrategias de control y adquisición de datos para ejecutar pruebas, verificación y optimización del funcionamiento de los patrones primarios de la Corporación CDT de Gas.
- Ejecutar pruebas, verificación y optimización del funcionamiento de los patrones primarios de la Corporación CDT de Gas.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas, proponer y ejecutar mejoras en la operación y sistemas de control y adquisición de datos de los patrones primarios de la corporación CDT de Gas.

2. METODOLOGÍA DE LA INTERVENCIÓN EN EL PATRÓN PRIMARIO TIPO PISTÓN



Fuente: Autor

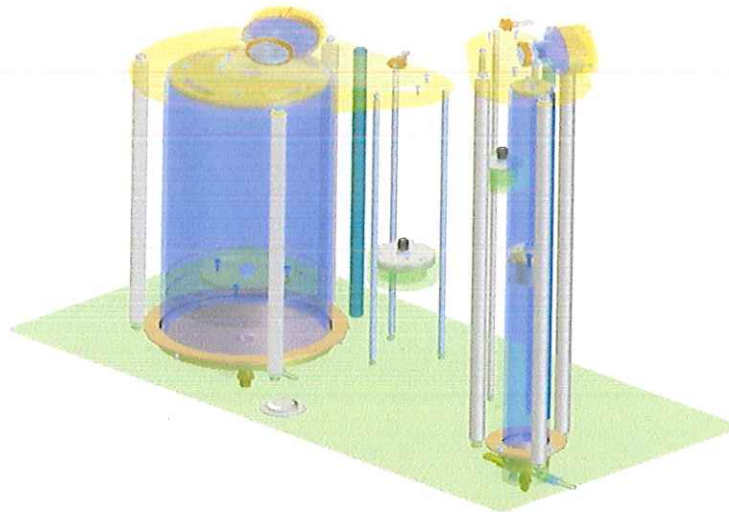
3. INTRODUCCIÓN

El patrón tipo Pistón de la corporación, es el patrón de calibración para medidores de flujo de gas a bajos caudales el cual está constituido por dos pistones, que se diferencian por el volumen capaz de almacenar y el rango de caudales de operación. Con un rango de operación del patrón en total de $0.05 \text{ dm}^3/\text{min}$ hasta $30 \text{ dm}^3/\text{min}$.

El patrón tipo Pistón cuenta con un sistema de control Opto22, basado en un controlador LCSX-plus y brain B-3000, un sistema neumático para el control del flujo hacia el pistón, sistema mecánico de contrapesos, el conjunto pistón cilindro y instrumento para cuantificar el desplazamiento del pistón (*encóder*)

En el presente informe se muestran los cambios realizados al patrón para buscar la acreditación como patrón de medidores de flujo de bajos caudales. Para cumplir con este objetivo de desarrollaron una serie de pruebas y posteriores cambios con el fin de optimizar la operación y de disminuir la incertidumbre relacionada en el proceso de calibración de medidores de gas, estos cambios se enfocaron en la parte mecánica, electrónica y de control del pistón los cuales se enuncian a continuación.

Figura 1 Patrón Tipo Pistón



Fuente: CDT de GAS, manual de operación y mantenimiento patrón tipo pistón.

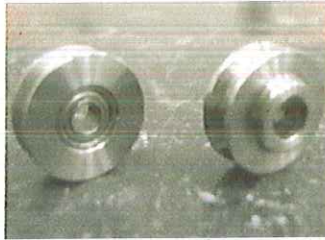
4. ELEMENTOS MECÁNICOS.

4.1 MODIFICACIÓN DE LA POLEA LOCA DE LOS DOS PISTONES (PARA FUNCIONAR CON RODAMIENTOS).

Teniendo en cuenta que el desplazamiento del pistón debe realizarse libremente se modificó la polea loca de manera que el giro del nuevo montaje se realiza por medio de rodamientos, lo que permite disminuir la fricción y un mejor autocentrado, ver

Figura 2 Modificación Polea Loca
Figura 2.

Figura 2 Modificación Polea Loca



Fuente: Autor

4.2 MODIFICACIONES MECÁNICAS A LAS POLEAS DE LOS PISTONES PARA MEJORAR MONTAJE.

Con el objetivo de reducir la excentricidad se rediseño la polea (ver *Figura 3*). La nueva polea está constituida por un solo cuerpo, la tolerancia y el ajuste de esta polea con el encóder es más fino, lo que reduce el desbalance.

Figura 3 Modificación poleas.

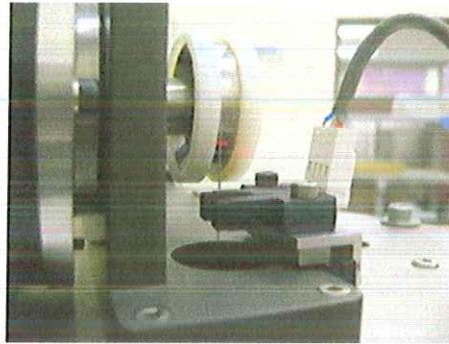


Fuente: Autor

4.3 FABRICACIÓN DE BASES PARA MONTAJE DE LOS ÓPTICOS.

Finalmente se diseñaron y construyeron bases autoajustables para el montaje de los nuevos sensores ópticos de final de carrera. Este diseño ofrece un óptimo alineamiento entre el sensor óptico y la cuerda, ver *Figura 4*.

Figura 4 Bases para montaje de ópticos



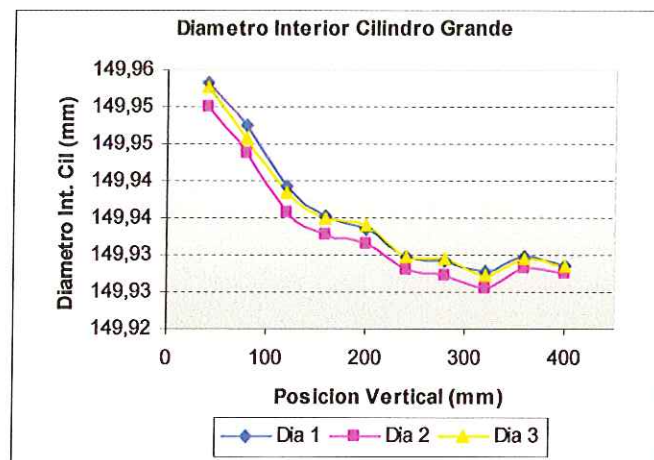
Fuente: Autor

4.4 MEDICIONES DIMENSIONALES DE LOS TUBOS DEL PISTÓN GRANDE Y PEQUEÑO.

Como primera instancia se recortaron los pistones VL-18 y VL-19, pistón grande y pistón pequeño respectivamente, reduciendo el VL-18, 10 milímetros pasando de 460 a 450 mm y el VL-19 reduciendo su tamaño a la mitad de 650 a 325mm, para así mejorar el tiempo efectivo en una calibración y la estabilidad en el desplazamiento del pistón.

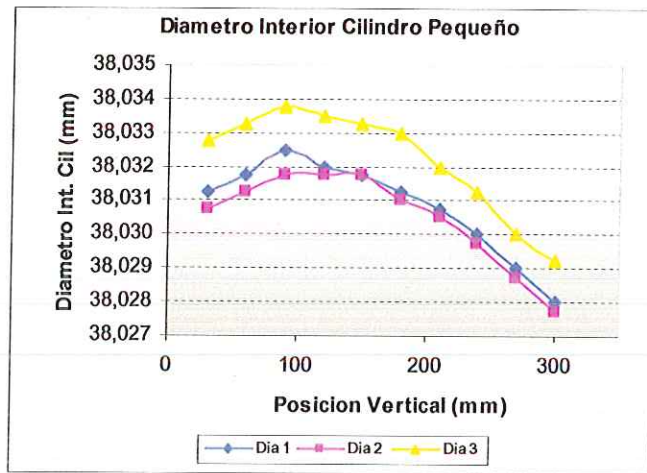
Se presentan a continuación los resultados de las evaluaciones dimensionales realizadas a los diferentes elementos.

Figura 5 Resultados diámetro interno VL-18.



Fuente: Autor

Figura 6 Resultados diámetro interno VL-19.



Fuente: Autor

Las mediciones dimensionales se realizaron bajo las siguientes condiciones:

Temperatura cuarto de ensayos: $20 \pm 1.5 \text{ }^\circ\text{C}$

Humedad relativa: $50 \pm 10\%$

Presión barométrica promedio: $903 \pm 5 \text{ mbar}$

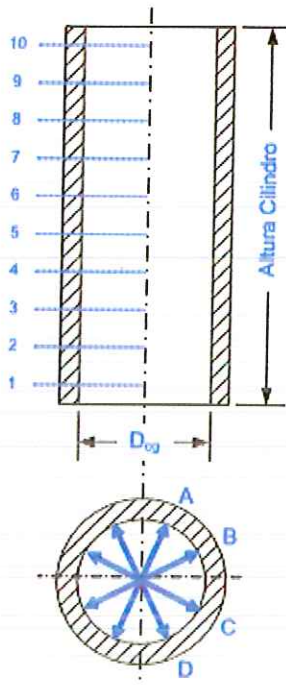
Para la medición de los cilindros se establecieron distancias determinadas a lo largo de la longitud como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1 Distancias establecidas para la medición de los cilindros.

Nivel	VL-18	VL-19
	Dist mm	Dist mm
10	400	300
9	360	270
8	320	240
7	280	210
6	240	180
5	200	150
4	160	120
3	120	90
2	80	60
1	40	30

Los diámetros se midieron 4 veces sobre cada uno de los 10 niveles que fueron marcados sobre el cilindro, comenzando desde la base 0 mm hasta la parte superior 450 mm y 325 mm, para el cilindro grande y para el cilindro pequeño respectivamente, ver Figura 7.

Figura 7 Distancias y posiciones angulares para la medición de diámetros internos.



Fuente: Autor

Para las mediciones dimensionales de los cilindros se utilizó un micrómetro digital con alcance de medición de 0-160 mm y un Bore Gage. En la *Figura 8* se puede apreciar la evaluación dimensional para el cilindro grande identificado como VL-18.

Figura 8 Medición de diámetro interno VL-18.



Fuente: Autor

En las siguientes tablas se muestra el diámetro promedio resultado de las mediciones realizadas.

Tabla 2 Resultados medición diámetro interno VL-018

Diámetro Interno del Cilindro Grande		
Nivel #	Alt (mm)	D _{cg} Promedio (mm)
1	40	149,952
2	80	149,946
3	120	149,938
4	160	149,934
5	200	149,933
6	240	149,929
7	280	149,929
8	320	149,927
9	360	149,929
10	400	149,928

Tabla 3 Resultados medición diámetro interno VL-019

Diámetro Interno del Cilindro Pequeño		
Nivel #	Alt (mm)	D _{cp} Promedio (mm)
1	30	38,032
2	60	38,032
3	90	38,033
4	120	38,032
5	150	38,032
6	180	38,032
7	210	38,031
8	240	38,030
9	270	38,029
10	300	38,028

Se presentan a continuación (*Tabla 4 y Tabla 5*) los resultados obtenidos de las mediciones dimensionales, se incluye el parámetro P_{enc} que corresponde a los pulsos emitidos por el *encóder* y se muestra la incertidumbre (U) estimada para cada una de las mediciones.

Tabla 4 Resultados VL-018

Parámetro	Valor	U	Magnitud
P _{enc}	20000	2	Pulsos/rev
D _{pe}	30,035	0,0066	mm
D _{cab}	0,250	0,0026	mm
D _c	149,934	0,046	mm

Tabla 5 Resultados VL-019

Parámetro	Valor	U	Magnitud
P _{enc}	20000	2	Pulsos/rev
D _{pe}	50,044	0,0065	mm
D _{cab}	0,252	0,0024	mm
D _c	38,031	0,009	mm

4.5 MEDICIÓN DIMENSIONAL DE LOS DIÁMETROS DE LAS CUERDAS DEL PISTÓN GRANDE Y PEQUEÑO.

También se realizó la medición de la cuerda y de las poleas, utilizando un micrómetro analógico con alcance de 0-25mm y un micrómetro digital respectivamente. Puesto que las cuerdas fueron cambiadas se necesitaba conocer el diámetro exacto para ingresarlo posteriormente en el modelo matemático del pistón. Ver *Figura 9*.

Figura 9 Medición de diámetro de las cuerdas.

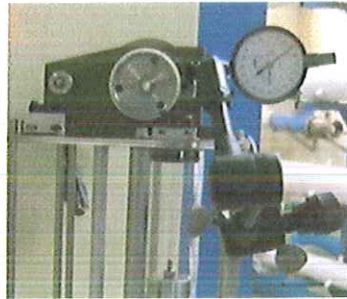


Fuente: Autor

4.6 PRUEBA DE EXCENTRICIDAD.

Adicionalmente se evaluó la excentricidad de las poleas ver *Figura 10*, utilizando un indicador de carátula de alta resolución.

Figura 10 Medición de la excentricidad de las poleas.



Fuente: Autor

La medición de las excentricidades de las poleas fueron las siguientes:

Polea pistón pequeño: 3 μm

Pistón grande: 5 μm

4.7 ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRE

El modelo matemático aplicable para la estimación de la incertidumbre en la obtención de la constante del pistón (K) es el descrito en la Ecuación 1. En la *Figura 11* se muestran las fuentes que afectan la estimación de incertidumbre relacionada con el cálculo de las K de los pistones.

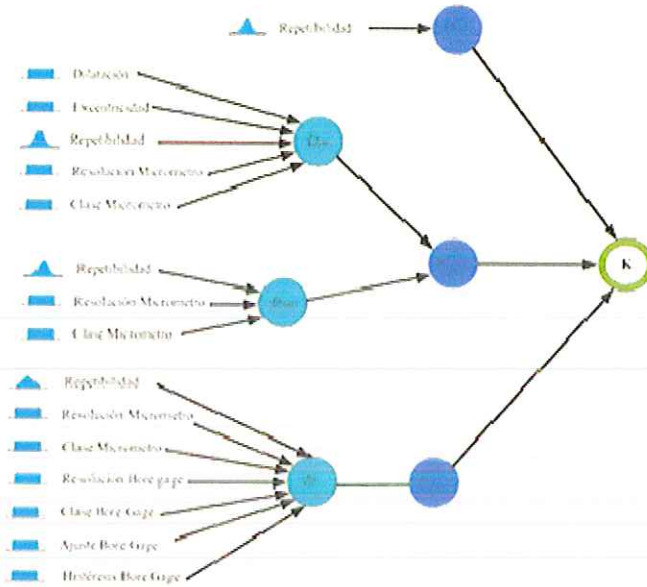
$$K[\text{Pulsos}/\text{dm}^3] = \frac{4 \times 10^6 \cdot P_{enc}}{\pi^2 \cdot [D_{pe} + D_{cab}] \cdot D_c^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Tabla 6 Variables modelo matemático.

Abrev	Unid	Descripción
P _{enc}	Puls	Número de pulsos por revolución del <i>encóder</i>
D _{pe}	mm	Diámetro de la polea del <i>encóder</i> corregido por dilatación térmica.
D _{cab}	mm	Diámetro del cable o espesor de la cinta de sujeción.
D _c	mm	Diámetro interno promedio del cilindro

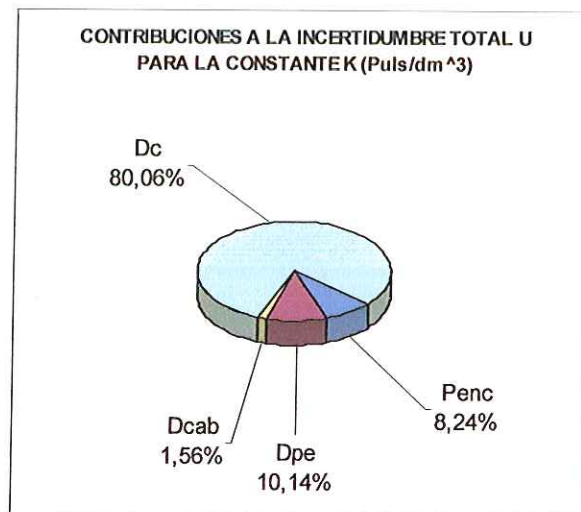
Figura 11 Fuentes de Incertidumbre.



Fuente: autor

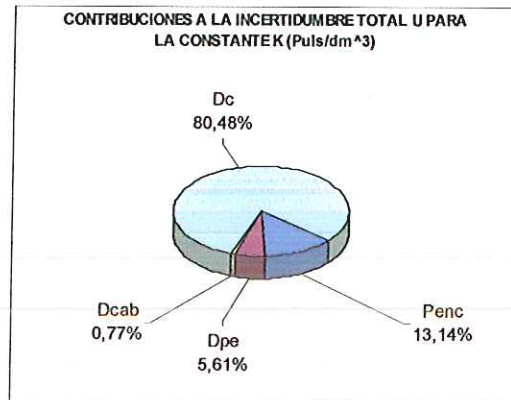
En las siguientes figuras se presentan las contribuciones de las variables presentes en el modelo matemático.

Figura 12 Contribuciones a la estimación de incertidumbre para la constante K VL-18.



Fuente: Autor

Figura 13 Contribuciones a la estimación de incertidumbre para la constante K VL-19.



Fuente: Autor

Finalmente los resultados obtenidos fueron los siguientes:

$$K_{pg} = 11905,76 \pm 8,18 \text{ pulsos/dm}^3 \quad (K = 1,97)$$

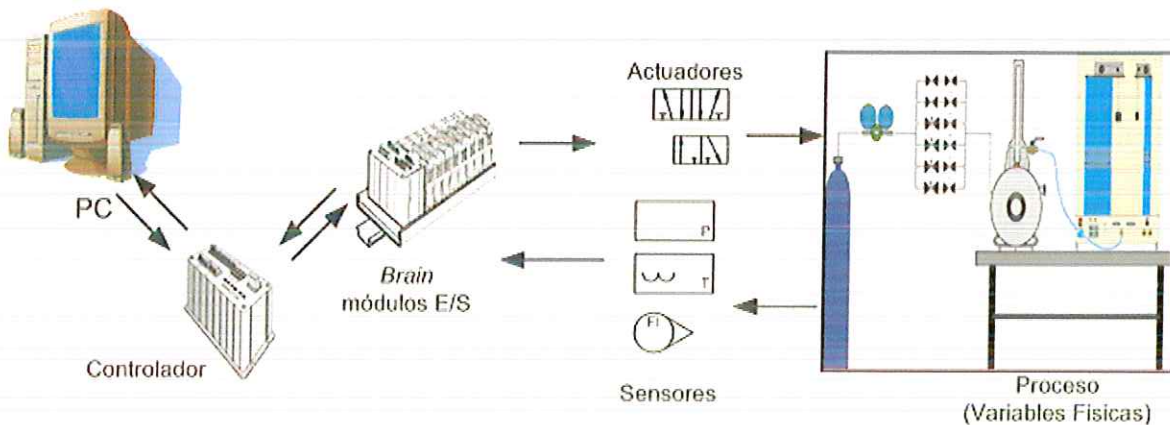
$$K_{pp} = 111424,8 \pm 60,39 \text{ pulsos/dm}^3 \quad (K = 1,965)$$

5. ELEMENTOS ELECTRÓNICOS

5.1 CAMBIO DEL SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DEL PISTÓN

La estructura con la cual contaba el patrón estaba constituida por un controlador LCSX-PLUS encargado de la estrategia de calibración, un brain de comunicación entre la E/S y el controlador, los módulos E/S, actuadores, sensores y patrón. Ver Figura 14.

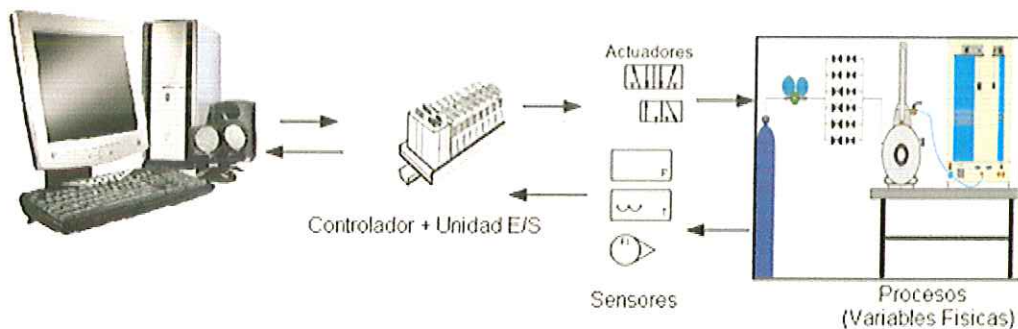
Figura 14 Estructura de Control antes de la intervención



Fuente: Autor

El cambio realizado en la estructura de automatización y control para el patrón con la implementación de un controlador R1, se muestra a continuación:

Figura 15 Estructura de Automatización y Control



Fuente: Autor

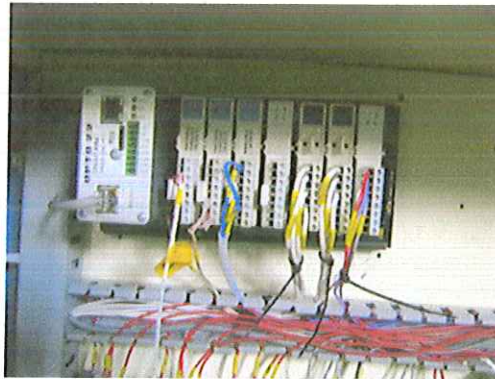
Con la estructura implementada en cuanto al hardware usado se eliminó el uso de un brain de comunicación y se reutilizó los módulos E/S.

Las ventajas relacionadas con el cambio de la estructura de automatización y control al cambiar un controlador LCSX-PLUS por un controlador R1 se señalan en la Tabla 7.

Tabla 7 Comparación de Controladores Opto 22

Controlador LCSX-PLUS	Controlador R1
<ul style="list-style-type: none">• Conexión RS232• Comunicación con las E/S por medio de un Brain• Software Factory floor• 1MB de memoria Ram• 16.57 Mhz frecuencia de reloj	<ul style="list-style-type: none">• Conexión vía Ethernet, aumento de velocidad de comunicación.• No necesita Brain para comunicarse con las E/S• Software Pac Project (ultimo software diseñado por la compañía opto 22)• 32 MB de memoria RAM• Diseñado especialmente para contar señales digitales de alta velocidad• 200 Mhz frecuencia de reloj

Figura 16 Controlador R1



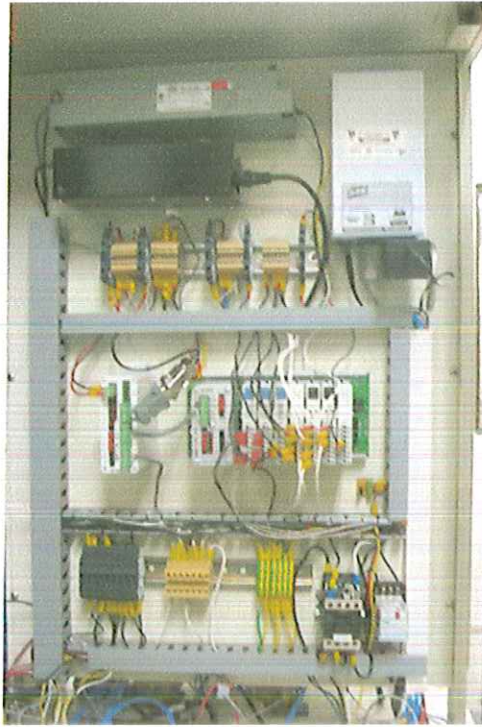
Fuente: Autor

5.1.1 Panel De Control

El panel con el cual contaba el pistón antes de los cambios realizados se muestra en la

Figura 17.

Figura 17 Panel de Control antes de la intervención



Fuente: Autor

Se realizó una distribución de los instrumentos, sensores y fuentes buscando la mejor distribución en el panel. Ver *Figura 18*.

Figura 18 Panel de Automatización



Fuente: Autor

5.2 IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES EMITIDAS POR EL MEDIDOR BAJO PRUEBA.

Según el medidor que se requiera calibrar existen dos opciones, los medidores analógicos y los que poseen una salida digital en forma de pulsos:

- Para los analógicos se requiere un sensor óptico que permita detectar el giro de la cifra menos significativa del odómetro o el giro de la aguja en la carátula del medidor y se selecciona en el panel frontal "sensor del medidor óptico" ver Figura 19
- Para los medidores con salida de pulsos se clasifican dependiendo si son pasivas o activas y se selecciona en el panel frontal sensor del medidor encóder. Ver Figura 19
 - Salida Activa: 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.
 - Salida Pasiva: Este circuito la salida de pulsos emitida por el MUT necesita una alimentación externa, por lo cual es necesario seleccionar en el panel frontal que voltaje de alimentación necesita (5 o 12 Volts Dc).

La señal del MUT se conecta en el panel "entrada de pulsos MUT y luego se selecciona el modo de operación descrito anteriormente. Ver Figura 19.

Figura 19 Panel del MUT

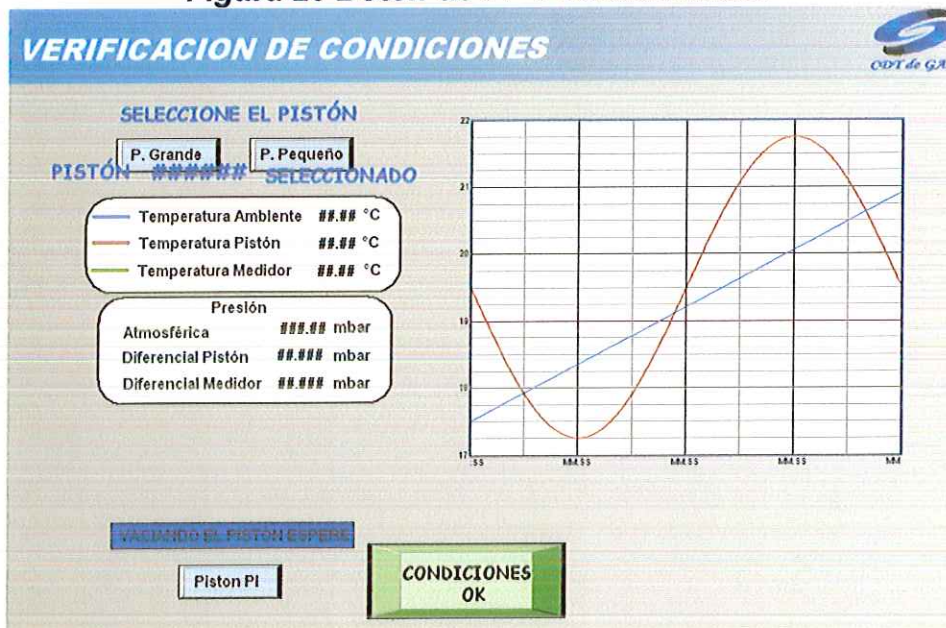


Fuente: Autor

5.3 INSTALACIÓN DE SENSORES ÓPTICOS, PARA CONOCER EN QUE INSTANTE DE TIEMPO EL PISTÓN SE ENCUENTRA EN LA POSICIÓN EXTREMA.

Anteriormente el pistón operaba con un botón en la interface el cual al ser oprimido cambiaba una variable dentro de la estrategia de calibración, lo cual indicaba en qué posición se encontraba el pistón, "Pistón PI" significaba posición inicial haciendo referencia cuando el pistón se encontraba abajo, ver Figura 20, con la instalación de los ópticos, la estrategia de calibración no espera señal alguna ingresada por el usuario sobre la posición del pistón simplemente revisa el estado de los sensores ópticos. Ver Figura 4.

Figura 20 Botón de PI "Posición Inicial"



Fuente: factoryfloor, opto display, interface de usuario del patrón tipo piston.

5.4 INSTALACIÓN SWITCH DE PRESIÓN CON EL FIN DE PROTEGER DE UNA SOBREPRESIÓN A LA ENTRADA DEL PISTÓN EN OPERACIÓN

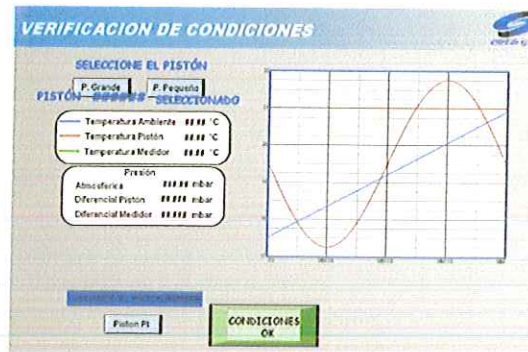
Cuando la presión en la entrada de flujo hacia el pistón sobrepasa 10 mbar, el contacto del switch se cierra, haciéndome llegar una señal de advertencia a la estrategia. Esta se encarga de cerrar la válvula para evitar la sobrepresión.

Figura 21 Switch de Presión



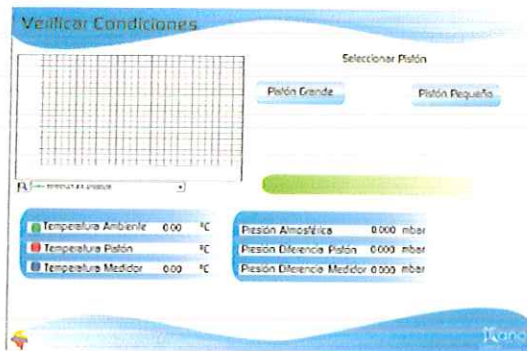
Fuente: Datasheet Miniature Adjustable Pressure Switch.

Figura 23 Ventana "Verificación de Condiciones" Antes de la intervención del Pistón



Fuente: factoryfloor, opto display, interface de usuario del patrón tipo piston.

Figura 24 Ventana "Verificación de Condiciones" luego de la intervención del Pistón



Fuente: Autor

El proceso de calibración se divide en 3 etapas.

1. Verificación de las condiciones ambientales del cuarto de calibración y conexiones de los sensores con el sistema Opto 22. Ver figura 21.
2. Ingreso de datos del medidor bajo prueba. Ver Figura 25.

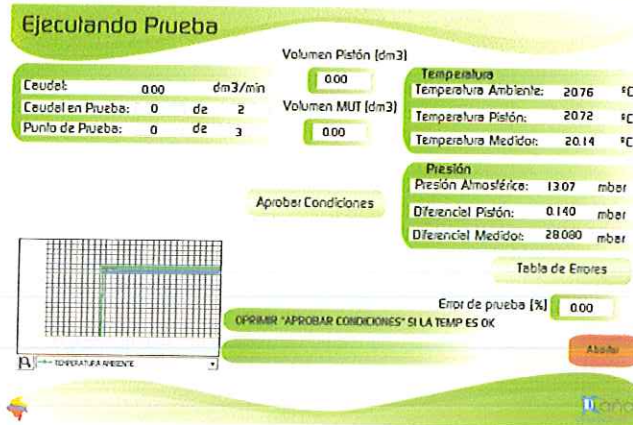
Figura 25 Ventana "Ingreso de Datos"



Fuente: Autor

3. Ejecución de la calibración. ver *Figura 26*

Figura 26 Ventana "Ejecutando Prueba"



Fuente: Autor

Los planos eléctricos y electrónicos junto con el sistema de adquisición de datos e instrumentación secundaria que se implementaron en el Patrón tipo Pistón se muestran a continuación:

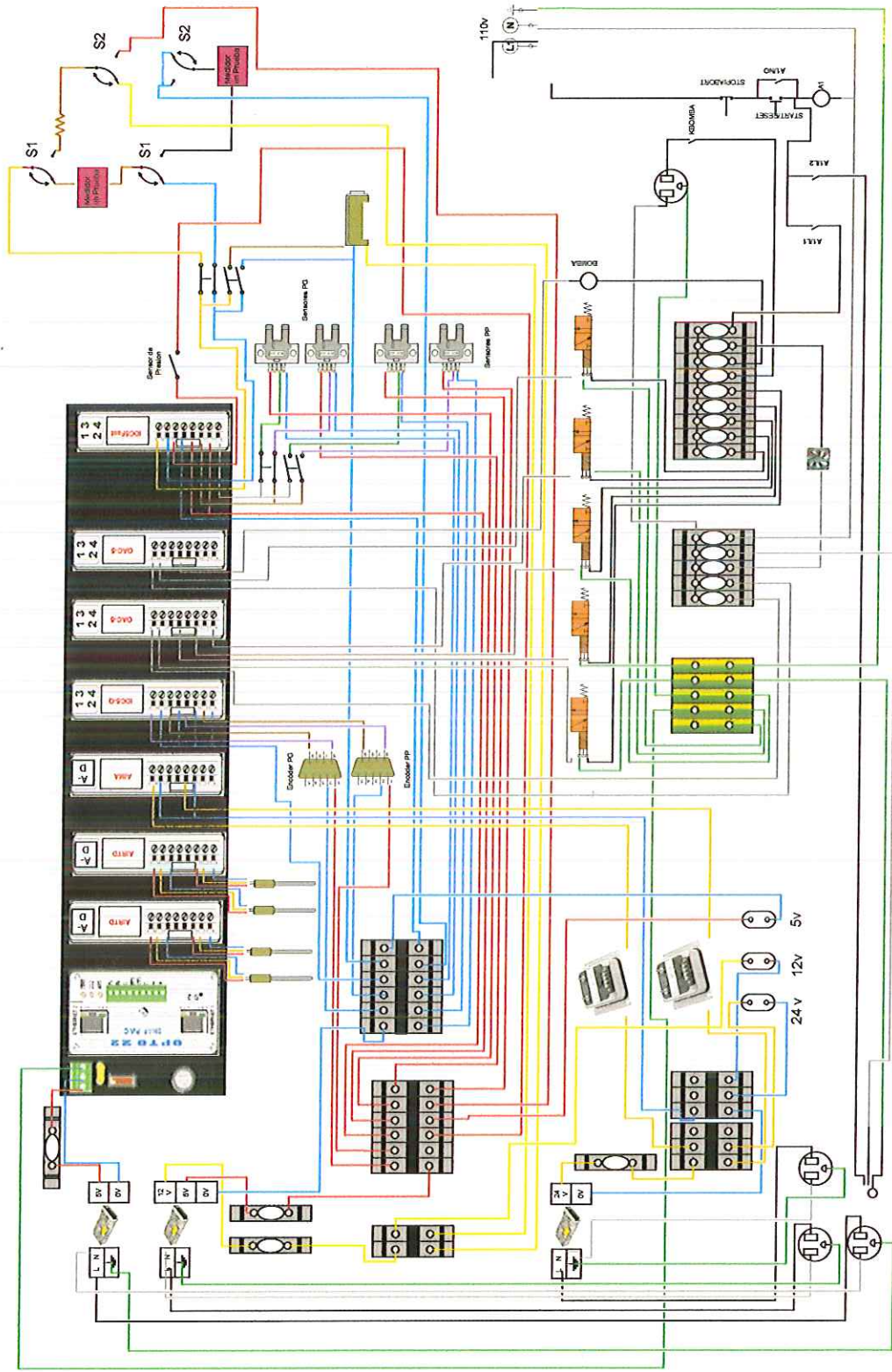


Figura 27 Plano Eléctrico Patrón Tipo Pistón

Fuente: Autor.

Nota: para ver en más detalle los planos, ir al anexo 3 en el CD

SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS						
Elemento	Cantidad	Señal de Operación	Comunicación	Tarea Especifica	Unidad de Procesamiento	
Controlador SNAP-PAC-R1	1	Análogo-Digital	Ethernet	Adquisición de Datos y Control	NA	
Modulo (Snap) OAC5	2	Análoga	Rack de Conexión - Cableado	Activación Electroválvulas y Bomba	Controlador SNAP-PAC-R1	
Modulo (Snap) AIRTD	1	Análoga	Rack de Conexión - Cableado	Lectura de Sensores de Temperatura		
Modulo (Snap) IDC5Fast	1	Digital	Rack de Conexión - Cableado	Detección de Pulsos MUT.		
Modulo (Snap) IDC5Q	1	Digital	Rack de Conexión - Cableado	Detección de alarma por presión		
Modulo (Snap) AIMA	1	Análoga	Rack de Conexión - Lazo de Corriente 4-20 ma	Detección de Pulsos Quadrature de los Encoders Lectura de Sensores de Presión		
INSTRUMENTACIÓN SECUNDARIA						
Elemento	Cantidad	Unidades	Alcance	Comunicación	Alimentación	Modulo de Adquisición
Diferencial de presión DWYER 616W4	1	mbar	0 a 50	Lazo de Corriente 4-20 mA	10-35 Vdc	AIMA
Diferencial de Presión ASHCROFT DXLdp	1	mbar	0 a 12	Lazo de Corriente 4-20 mA	10-35 Vdc	AIMA
Barometro Digital HONEYWELL HPB200R	1	psi	7,6 a 17,4	Serial 232	6-26 Vdc	Controlador SNAP-PAC-R1

Sensor Resistivo de Temperatura RTDPT100 3 Hilos	4	Celsius	0 a 40 (Configurado) -200 a 204 (Instrumento)	Cableado directo 3 Hilos	NA	AIRTD
Encóder Serie LHF-078-5000	2	Pulsos	20000 p/rev	Cableado directo	5 ±5% Vdc	IDC5Q
Sensor Óptico Final de Carrera	2Pg/2Pp	Pulsos	NA	Cableado directo	12 Vdc	IDC5Fast
Sensor Óptico SUNX FD T80	1	Pulsos	NA	Cableado directo	12 Vdc	IDC5Fast
Switch ajustable de Presion MDA DWYER	1	in H2O/pulsos	0,1 a 100/1	Cableado directo	5 a 30 Vdc	IDC5Fast

Tabla 8 Hardware de Automatización Patrón Tipo Pistón

COMPONENTES ADICIONALES	
Bomba de Vacío 200mbar	
Sistema de Regulación	Baja Presión: 15 mbar a 25 mbar con estabilidad de 0.3 % de la presión regulada
	Alta Presión: 0.2 bar a 5 bar con estabilidad de 0.5%.
Manifold de Regulación	
Sistema de Filtrado	

Tabla 9 Hardware de Automatización Patrón Tipo Pistón II

6. PRUEBAS REALIZADAS

Luego de los cambios descritos anteriormente en la actualidad el Patrón tipo Pistón se encuentra en operatividad, ya se han hecho pruebas teniendo como MUT una cámara húmeda con las siguientes características, volumen por revolución 2.83 dm^3 , un caudal máximo de $7.55 \text{ dm}^3/\text{min}$ y con un caudal mínimo de $0.27 \text{ dm}^3/\text{min}$.



Figura 28 Calibración de Cámara Húmeda con Pistón

Fuente: Autor.

Anexo2. PROYECTO OPTIMIZACIÓN DEL PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA

Tabla de Contenido

1. OBJETIVOS	4
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2. METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA.....	5
3. INTRODUCCIÓN.....	6
4. PRUEBAS REALIZADAS	6
4.1 ESTRATEGIAS DE CONTROL	6
4.2 RESBALAMIENTO ENTRE POLEAS	7
4.3 DETERMINACIÓN DE LA EXCENRICIDAD DE LA POLEA PEQUEÑA DE LA CAMPANA	9
4.3.1 Pasos de Ejecución	9
4.4 EVALUACIÓN DE LOS PULSOS EMITIDOS POR EL ENCÓDER.....	11
4.4.1 Resultados de la prueba.....	11
4.5 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE CON IMPLEMENTACIÓN DE MODIFICACIÓN EN LA ESTRATEGIA DE CONTROL.....	12
4.6 RESULTADOS QUE SE OBTIENEN AL AISLAR TÉRMICAMENTE LA TUBERÍA DE SALIDA DE LA CAMPANA.....	13
5. ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN.....	14
5.1 PARTE MECÁNICA.....	14
5.1.1 Estudio de la posibilidad de implementar un encóder directamente al eje de la polea principal.....	15
5.1.2 Cálculo de la nueva constante de la campana.....	17
5.2 SISTEMA CONTROL	18
6. CONCLUSIONES	24
6.1 CONCLUSIONES RESBALAMIENTO ENTRE POLEAS.....	24
6.2 CONCLUSIONES DETERMINACIÓN DE LA EXCENRICIDAD DE LA POLEA PEQUEÑA DE LA CAMPANA.....	24
6.3 CONCLUSIONES EVALUACIÓN DE LOS PULSOS EMITIDOS POR EL ENCÓDER.....	24
6.4 CONCLUSIONES COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE CON IMPLEMENTACIÓN DE MODIFICACIÓN EN LA ESTRATEGIA DE CONTROL. 25	
6.5 CONCLUSIONES RESULTADOS QUE SE OBTIENEN AL AISLAR TÉRMICAMENTE LA TUBERÍA DE SALIDA DE LA CAMPANA.....	25
6.6 CONCLUSIONES ESTUDIO DE LA POSIBILIDAD DE IMPLEMENTAR UN ENCÓDER DIRECTAMENTE AL EJE DE LA POLEA PRINCIPAL.....	25

Lista de Figuras

<i>Figura 1 Ventana Principal</i>	7
<i>Figura 2 Interface de Usuario Prueba Encoder</i>	7
<i>Figura 3 Esquema de prueba de resbalamiento</i>	7
<i>Figura 4 Desviación de pulsos registrados por el encóder</i>	9
<i>Figura 5 Montaje prueba de excentricidad</i>	9
<i>Figura 6 Canales de salida del encóder</i>	11
<i>Figura 7 Desviación de pulsos/vuelta en función del caudal de prueba</i>	12
<i>Figura 8 Enfriamiento de la temperatura del aceite</i>	12
<i>Figura 9 Esquema de la campana con y sin aislante</i>	13
<i>Figura 10 Comparación de temperaturas</i>	13
<i>Figura 11 Sistema de transmisión actual de la campana</i>	14
<i>Figura 12 Contribuciones a la incertidumbre del volumen físico desplazado por la campana gasométrica</i>	15
<i>Figura 13 Contribuciones a la incertidumbre de la constante de la campana</i>	16
<i>Figura 14 Configuraciones del encóder</i>	17
<i>Figura 15 Plano Eléctrico Campana Gasométrica Total</i>	20

Lista de Tablas

<i>Tabla 1 Ángulos descritos por la polea principal</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 2 Datos de prueba de excentricidad.....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3 Pulsos por vuelta del encóder a distintos caudales</i>	<i>11</i>
<i>Tabla 4 Caracterización de temperaturas</i>	<i>14</i>
<i>Tabla 5 Nuevos valores para la constante de la campana</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 6 Hardware Patrón Tipo Campana Gasométrica.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 7 Instrumentación Secundaria Patrón Tipo Campana Gasométrica</i>	<i>23</i>

1. OBJETIVOS

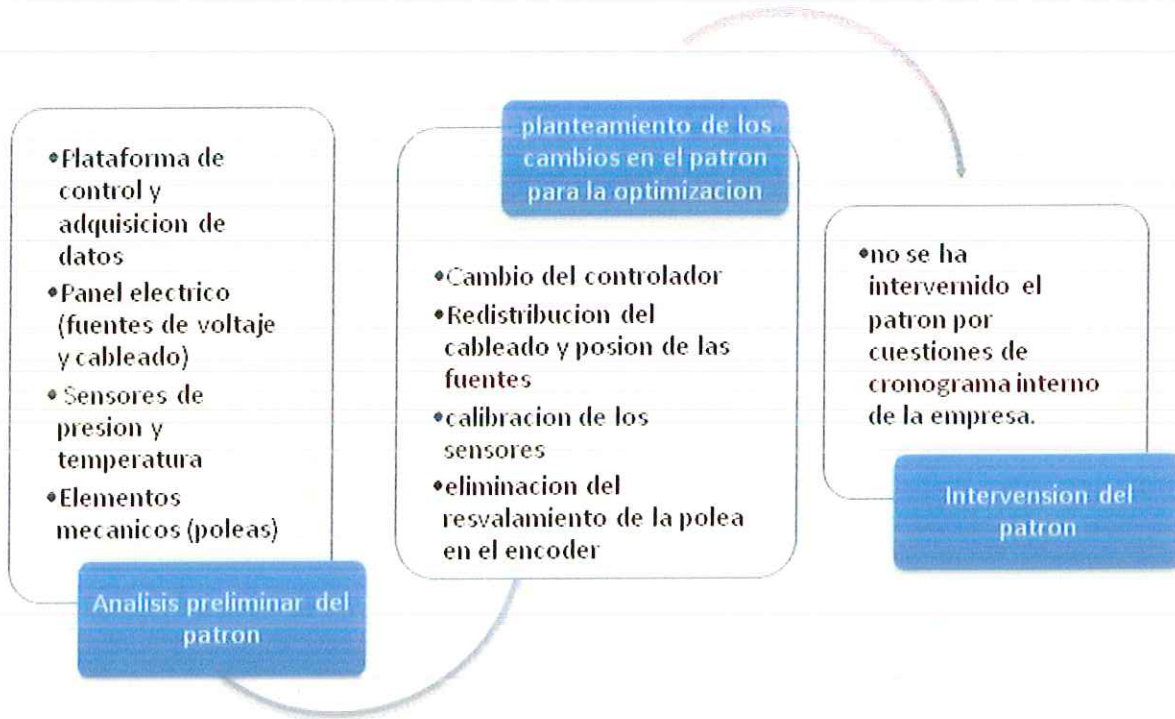
1.1 OBJETIVO GENERAL

Mejorar las operaciones y los sistemas de control y adquisición de datos del patrón primario tipo Campana Gasométrica de la corporación CDT de Gas.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Programar estrategias de control y adquisición de datos para ejecutar pruebas, verificación y optimización del funcionamiento de los patrones primarios de la Corporación CDT de Gas.
- Ejecutar pruebas, verificación y optimización del funcionamiento de los patrones primarios de la Corporación CDT de Gas.
- Analizar los resultados obtenidos en las pruebas, proponer y ejecutar mejoras en la operación y sistemas de control y adquisición de datos de los patrones primarios de la corporación CDT de Gas.

2. METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL PATRÓN PRIMARIO TIPO CAMPANA GASOMÉTRICA



Fuente: Autor

3. INTRODUCCIÓN

La campana gasométrica con que cuenta la corporación es un patrón primario de volumen y caudal único en Colombia. Debido a la importancia de este patrón para la infraestructura metrológica del país se genera un proyecto en pro a la mejora y optimización de este patrón.

El presente informe muestra algunos análisis, pruebas y resultados realizados a la campana gasométrica para conocer su estado y así generar ideas e hipótesis que se encaminaran a la mejora del patrón. La optimización y resultados se verán reflejados en una disminución de la incertidumbre del patrón, así como una mejor operatividad del mismo.

Este proyecto de optimización de la campana tiene como finalidad principal la re-acreditación de éste con respecto a medidores de gas con un rango de 0.016 m³/h – 25 m³/h. Con las pruebas descritas a continuación se buscaba conocer de forma detallada el comportamiento de los diferentes parámetros que afectan la incertidumbre asociada a la calibración de medidores de gas usando como patrón la campana gasométrica. Estas pruebas se dividieron en dos partes. En primer lugar se realizaron pruebas sobre el sistema mecánico, en particular al sistema de transmisión de movimiento (poleas). En segundo lugar se ejecutaron pruebas y análisis a los componentes del sistema de control y adquisición de datos incluyendo el sistema de cuantificación del desplazamiento (encóder).

La campana cuenta con un sistema de control conformado por un controlador G4LC32ISA y un brain B-3000. Adicionalmente cuenta con instrumentación electrónica para la medición de las variables asociadas al proceso de calibración como lo son presión, temperatura y humedad (Ver *Tabla 7*). En cuanto al sistema de control de la campana se tiene una gran desventaja puesto que ya está fuera del mercado. Esto representa un riesgo debido a que un daño en el equipo causaría que la corporación CDT de Gas dejara de brindar el servicio de calibración de medidores tomando como patrón la campana gasométrica, viendo afectados los ingresos de la corporación.

Esto hace que la intervención a la campana gasométrica sea de gran importancia y se desarrolle lo más pronto posible.

4. PRUEBAS REALIZADAS

4.1 ESTRATEGIAS DE CONTROL

Para las diferentes pruebas descritas a continuación se desarrollaron una serie de estrategias e interfaces de usuario encaminadas a la óptima realización de estas. Por medio de estas estrategias e interfaces desarrolladas se controla el movimiento de la campana y la adquisición de datos de los diferentes instrumentos con el fin ajustar la operación del patrón a los requerimientos de las pruebas. En las siguientes figuras se observan dos ejemplos de las interfaces desarrolladas.

Figura 1 Ventana Principal

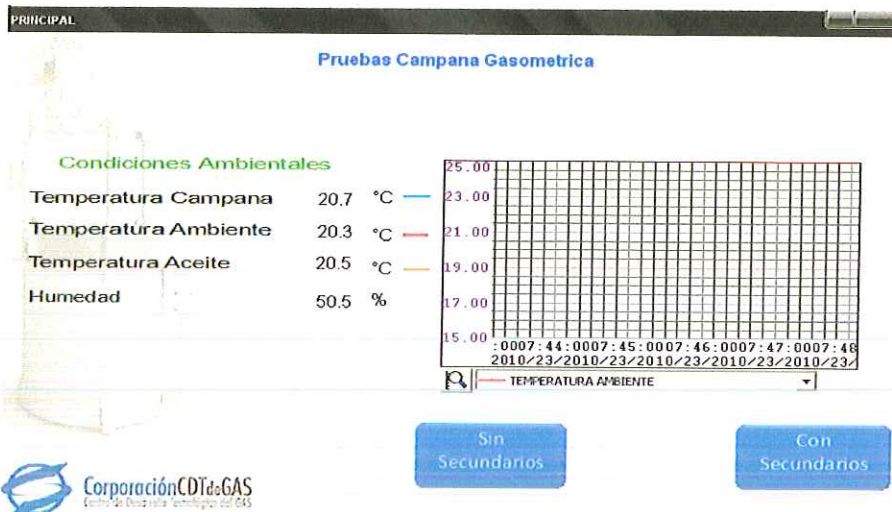
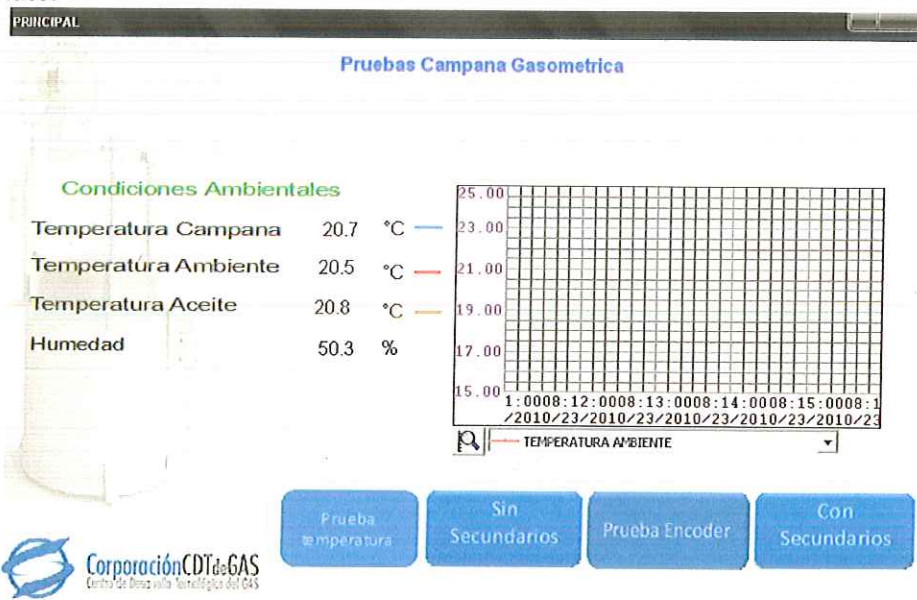


Figura 2 Interface de Usuario Prueba Encoder

Fuente: Autor



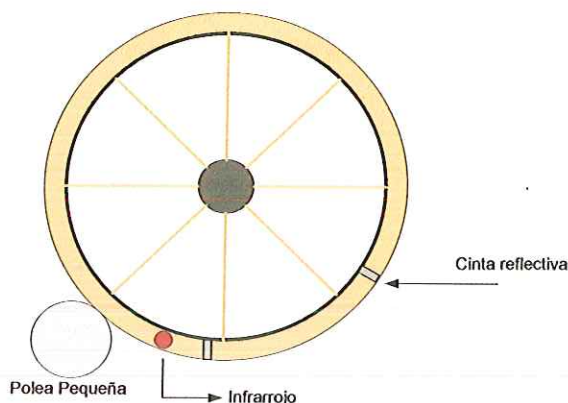
Fuente: Autor

4.2 RESBALAMIENTO ENTRE POLEAS

Esta actividad consiste en registrar los pulsos emitidos por el encóder en un volumen que se define por el ángulo barrido por la polea principal al limitar este ángulo entre dos cintas reflectivas puestas en la polea y detectadas por un sensor óptico (ver

Figura 3 y Tabla 1).

Figura 4 Esquema de prueba de resbalamiento



Fuente: Autor

4.2.1 Desarrollo de la prueba

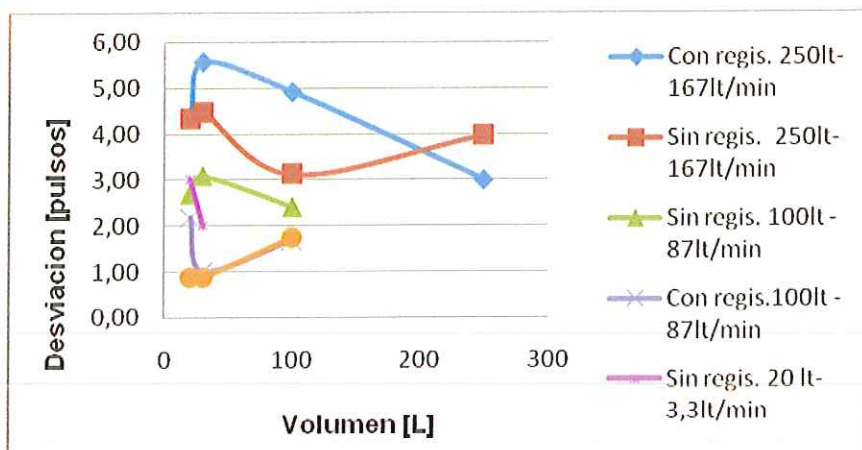
La prueba se divide en tres partes las cuales son ejecutadas con una de las estrategias de control descrita en el numeral anterior:

1. Registrar los pulsos para volúmenes de 20 dm³, 100 dm³ y 250 dm³ sin registrar en el histórico las magnitudes indicadas por los sensores de temperatura y presión que hay en la campana.
2. Registrar los pulsos para volúmenes de 20 dm³, 100 dm³ y 250 dm³ registrando en el histórico las magnitudes indicadas por los sensores de temperatura y presión que hay en la campana.
3. Registrar los pulsos para un volumen de 100 dm³ haciendo una modificación en el sistema de operación de la campana. En operación normal la campana hace una parada de estabilización de aproximadamente un minuto en el sensor anterior al volumen de prueba, en esta tercera prueba la campana no se detiene en el sensor anterior, la estabilización se hace en el punto superior del trayecto de la campana (300 dm³) y posteriormente sigue un recorrido hasta parada.

4. Tabla 1 Ángulos descritos por la polea principal

VOLUMEN [dm ³]	θ [°]
10	4
20	8
50	19,9
100	39,8
150	59,7
200	79,5
250	99,4

Figura 5 Desviación de pulsos registrados por el encóder



Fuente: Autor

4.3 DETERMINACIÓN DE LA EXCENTRICIDAD DE LA POLEA PEQUEÑA DE LA CAMPANA

Esta prueba se ejecuta con el objetivo de determinar la excentricidad que presenta en operación la polea pequeña. Para la ejecución de esta prueba se utilizó:

- Un indicador de carátula. La corporación cuenta con dos indicadores de caratula. Para la prueba se escogió el de menor división de escala, o sea el de 1 μ m.
- Soporte magnético para garantizar la estabilidad del comparador de caratula

Para ver con más detalle el montaje observar la Figura 6.

Figura 6 Montaje prueba de excentricidad



Fuente: Autor

4.3.1 Pasos de Ejecución

- a) Limpiar con una lanilla la polea de tal forma que no muestre partícula de polvo alguna en su superficie lateral.
- b) Instalar el comparador de caratula radial a la polea pequeña de tal forma que quede una precarga.

- c) Iniciar estrategia de opto 22 para esta prueba.
- d) Observar detenidamente durante el volumen de prueba la aguja indicadora del medidor y tomar el valor máximo y mínimo.

Los resultados de la prueba se muestran en la siguiente tabla. Para analizar los datos la excentricidad se evalúa como la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo indicado por el comparador de caratula.

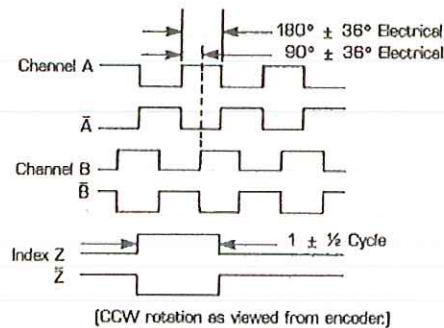
Tabla 2 Datos de prueba de excentricidad

Excentricidad polea pequeña						
CAUDAL [dm ³ /min]	VOLUMEN [dm ³]	Lectura	Min	Max	Excentricidad	
			µm	µm	µm	mm
10	50	1	1	2	1	0,001
		2	1	2	1	0,001
		3	1	2	1	0,001
Promedio					1	0,001
49,83	100	1	1	2	1	0,001
		2	1	2	1	0,001
		3	1	2	1	0,001
Promedio					1	0,001
76,05	150	1	3	10	7	0,007
		2	3	10	7	0,007
		3	3	10	7	0,007
Promedio					7	0,007
100,63	200	1	6	17	11	0,011
		2	6	17	11	0,011
		3	6	17	11	0,011
Promedio					11	0,011
166,17	250	1	9	27	18	0,018
		2	9	27	18	0,018
		3	9	27	18	0,018
Promedio					18	0,018

4.4 EVALUACIÓN DE LOS PULSOS EMITIDOS POR EL ENCÓDER

La finalidad de esta prueba es cerciorarse que el encóder de la campana esté tomando 20.000 pulsos/revolución (en cuadratura) tal y como lo indica el proveedor de este dispositivo. Para verificar tal característica tomamos como referencia el canal z del encóder (ver *Figura 7*), el cual nos genera una señal cuando el encóder realizo 1 vuelta con la cual se sincroniza el conteo en cuadratura.

Figura 7 Canales de salida del encóder



Fuente: datasheet encóder LHF-078-5000

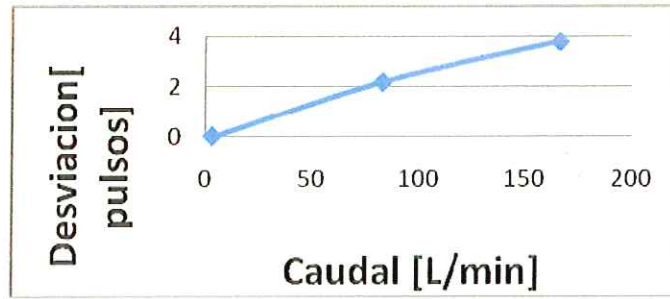
4.4.1 Resultados de la prueba

La siguiente tabla y grafica muestra el comportamiento que tuvo el encóder durante la prueba:

Tabla 3 Pulsos por vuelta del encóder a distintos caudales

Caudal [dm ³ /min]	Corrida	Pulsos/vuelta
166,26	1	20002
	2	20001
	3	19997
	4	19997
	5	20006
82,83	1	19998
	2	20001
	3	20003
	4	20003
	5	20003
3,15	1	20000
	2	20000
	3	20000

Figura 8 Desviación de pulsos/vuelta en función del caudal de prueba



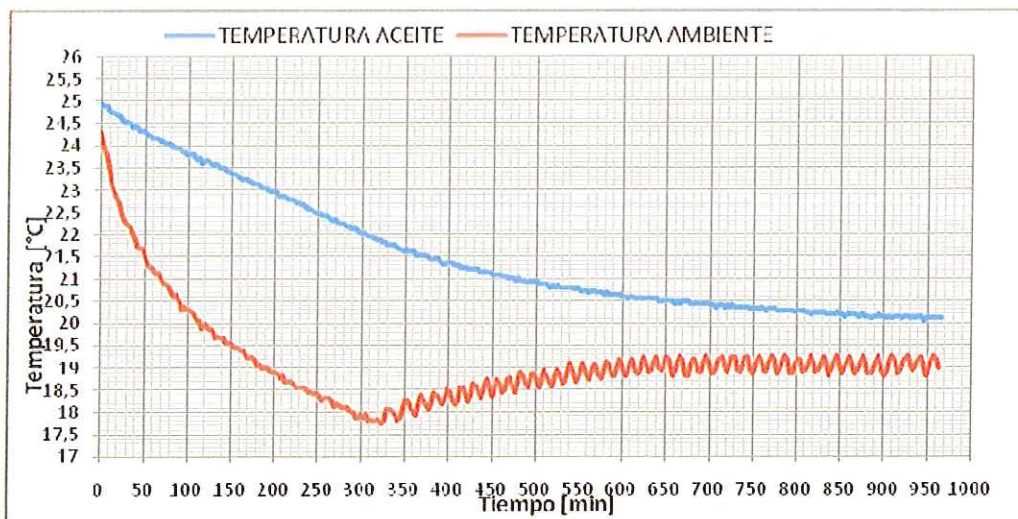
Fuente: Autor

4.5 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE CON IMPLEMENTACIÓN DE MODIFICACIÓN EN LA ESTRATEGIA DE CONTROL

La finalidad de esta prueba fue encontrar el tiempo en que el aceite demoraba en alcanzar determinada temperatura, y reducir al máximo el tiempo en alcanzar más específicamente 20,5°C. Inicialmente la temperatura del aceite se demoraba aproximadamente 24 horas en bajar de 23°C (temperatura ambiente del cuarto cuando no se enciende el control de condiciones ambientales) a 20,5°C. Dentro del desarrollo de prueba también se siguió el comportamiento de la temperatura ambiente.

Con el fin de mejorar este tiempo se implemento una mejora que consiste en una compensación que se da siempre y cuando la temperatura del aceite sea mayor a 22°C. Dicha compensación consiste en incrementar la indicación de la temperatura de referencia del aire acondicionado por un factor proporcional a diferencia entre la temperatura del aceite y 20,5°C. El resultado final de implementación se puede apreciar en la siguiente grafica.

Figura 9 Enfriamiento de la temperatura del aceite



Hora inicio: 4:00 P.M

Hora finalización: 8:00 A.M

Tiempo total prueba: 16 horas

Fuente: Autor

4.6 RESULTADOS QUE SE OBTIENEN AL AISLAR TÉRMICAMENTE LA TUBERÍA DE SALIDA DE LA CAMPANA

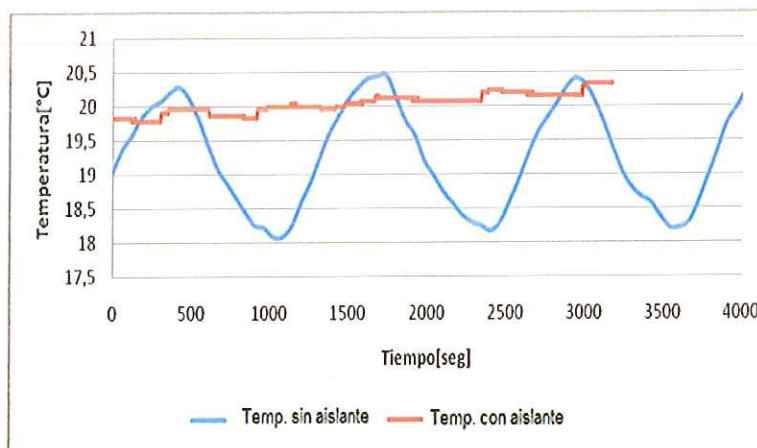
El objetivo principal de esta prueba fue el de analizar y comparar la magnitud de la temperatura de la tubería de salida de la campana al aislar y no aislar esta tubería. Puesto que esta tubería conecta la campana con el MUT, se desea que no haya grandes cambios de temperatura entre el aire de la campana y el que le ingresa al MUT. De esta manera se estudiaría la probabilidad de aislar esta parte de la campana siempre y cuando conlleve a buenas condiciones de estabilidad térmica que mejoren las calibraciones. Para apreciar con más detalle la parte que se aisló se puede observar la siguiente figura:

Figura 10 Esquema de la campana con y sin aislante



Fuente: Autor

Figura 11 Comparación de temperaturas



Fuente: Autor

Los resultados de esta prueba se pueden apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 4 Caracterización de temperaturas

CARACTERÍSTICA	CONDICIÓN					
	Sin aislante			Con aislante		
	Temp. camp.	Salida	Temp. entrada medidor	Temp. camp.	Salida	Temp. entrada medidor
MÁXIMO VALOR	20,69		19,92	20,32		19,83
MÍNIMO VALOR	17,83		18,85	19,78		18,85
MAX-MIN	2,86		1,07	0,54		0,98
DESVIACIÓN	0,76		0,24	0,14		0,30

Nota: valores de la tabla en grados Celsius

4.6.1 Estrategia de Control

Esta prueba se realizo en la calibración de un medidor tipo cámara húmeda.

5. ESTRATEGIA DE OPTIMIZACIÓN

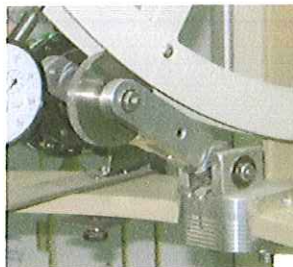
De acuerdo a las pruebas realizadas, a los análisis preliminares a las observaciones realizadas en operación de la campana y a las ideas por parte de algunos funcionarios que tienen experiencia trabajando con este patrón, se divide la estrategia de optimización de la campana en dos partes:

- a) Cambio del encóder y de su posición (parte mecánica de la campana)
- b) Actualización del sistema de control (hardware-software).

5.1 PARTE MECÁNICA

Acá se busca modificar el sistema de transmisión (poleas) en la campana buscando un nuevo diseño donde se elimine en gran parte cualquier elemento que pueda contribuir a la excentricidad de la polea pequeña. Es de gran importancia ya que según datos del strapping¹ 2006 la excentricidad de la polea pequeña es la mayor fuente de incertidumbre asociado al volumen físico desplazado por la campana.

Figura 12 Sistema de transmisión actual de la campana



Fuente: Autor

¹ Strapping: Mediciones dimensionales de la estructura mecánica

Como mejor opción se eligió eliminar la transmisión a polea pequeña haciendo solidario al eje de la polea principal un encóder con mejores características (mayor # pulsos/rev) que el que tiene ahora la campana.

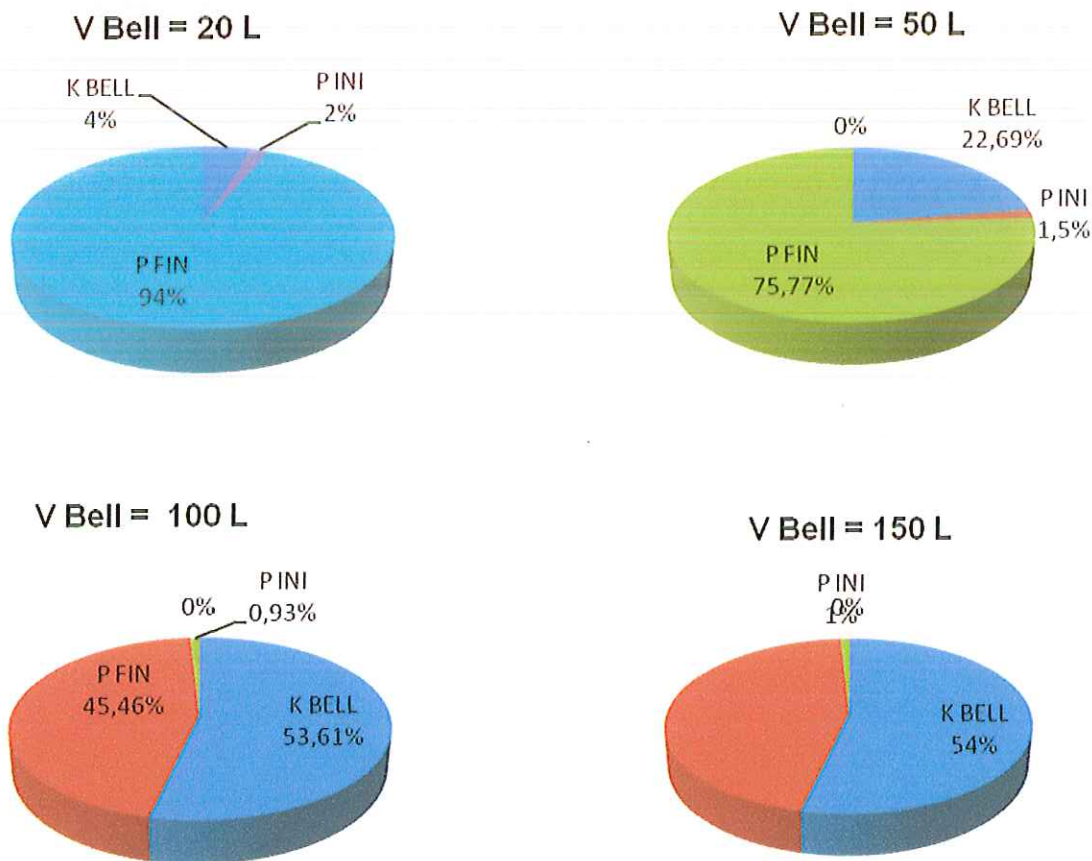
5.1.1 Estudio de la posibilidad de implementar un encóder directamente al eje de la polea principal

El estudio a continuación muestra las ventajas que implica el instalar el encóder a la polea principal y que características debe tener este para que por lo menos la constante K [mm/pulso] se mantenga en el mismo valor actual

Justificación

Para comprender de una mejor manera el porqué acoplar otro tipo de encóder al eje de la polea principal observemos las siguientes figuras:

Figura 13 Contribuciones a la incertidumbre del volumen físico desplazado por la campana gasométrica



Fuente: carpeta de servicios correspondiente al strapping 2006 realizado a la campana gasométrica por parte del CDT de Gas.

En las graficas anteriores se tiene:

P INI: Son los pulsos iniciales emitidos por el encóder

P FIN: Son los pulsos finales emitidos por el encóder

K BELL: Es la constante característica de la campana (0,00786921 mm/puls)

La constante de la campana se obtiene a partir de una ecuación que relaciona los pulsos del encóder, y las magnitudes dimensionales asociadas a los diámetros de la polea principal, polea pequeña y diámetro del cable de sujeción.

La constante cinemática de la campana gasométrica se obtiene aplicando la siguiente relación:

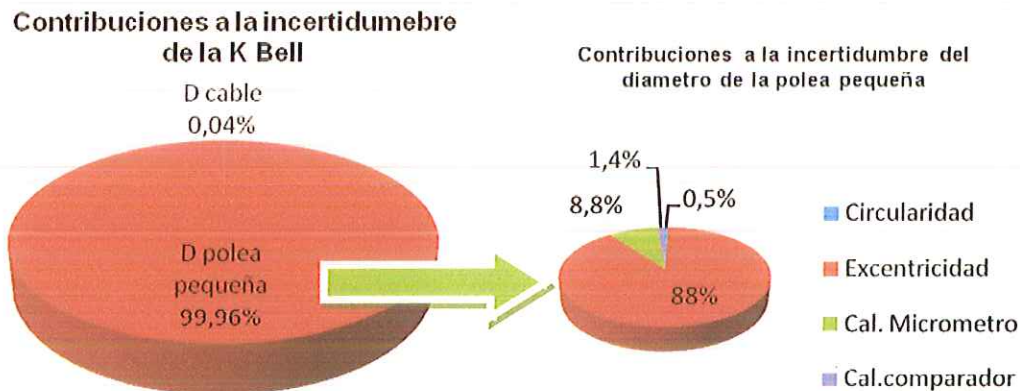
$$K(mm / Pulso) = \frac{\pi * D_{PP}}{N^{\circ} Pulsos} \left(1 + \frac{D_C}{D_{PG}} \right)$$

Donde:

- No. Pulsos: No. de pulsos por revolución registrados por el sistema.
- D_{PP} : Diámetro polea pequeña
- D_{PG} : Diámetro de la polea grande
- D_C : Diámetro cable de sujeción

Y para la constante de la campana se tiene

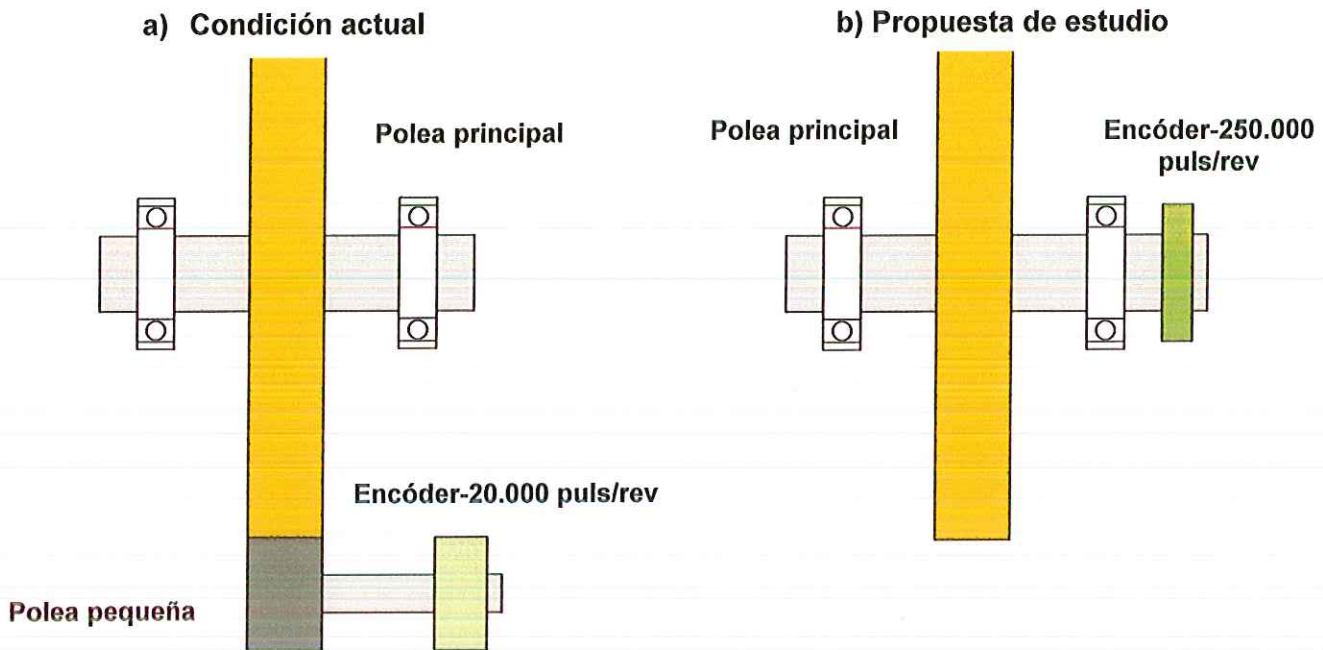
Figura 14 Contribuciones a la incertidumbre de la constante de la campana.



Fuente: carpeta de servicios correspondiente al strapping 2006 realizado a la campana gasométrica por parte del CDT de gas.

En la siguiente figura se muestra la condición actual y la propuesta para el cambio del encóder en la campana.

Figura 15 Configuraciones del encóder



Fuente: Autor

Después de observar todas las figuras anteriores se concluye que la fuente que más contribuye a la incertidumbre asociada al volumen físico desplazado por la campana es la constante de la campana (K_{Bell} , diámetro polea pequeña) para volúmenes grandes y la repetibilidad de los pulsos finales para volúmenes pequeños. En cualquier de los dos casos estas contribuciones están ligadas a la transmisión de la polea principal, por tal razón la adaptación de un encóder con mejores características al eje de la polea principal eliminaría estas fuentes de incertidumbre, ya que se estaría eliminando físicamente la polea pequeña además se estaría eliminando la posibilidad que se produjera un resbalamiento entre la polea pequeña y la polea de la campana con esto se asegura la emisión de pulsos por parte del encóder.

5.1.2 Cálculo de la nueva constante de la campana

Al implementar esta modificación la constante de la campana ya no sería la misma, por eso se hace necesario estimar el nuevo valor que tendría la campana y así incluir este nuevo valor en las estrategias de programación de Opto 22.

$$K_{Bell} = \frac{S}{Pulsos} = \frac{R_{GIR} \times \theta}{Pulsos} = \frac{2\pi}{Pulsos} R_{GIRO} = \frac{2\pi}{Pulsos} \left(\frac{D_{PG} + D_C}{2} \right)$$

$$K_{Bell} = \frac{\pi}{Pulsos} (D_{PG} + D_C) \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

K_{Bell} : Constante que relaciona el desplazamiento vertical de la campana con el número de pulsos emitidos por el encóder (mm/pulsos).

S : Desplazamiento vertical de la campana (mm)

R_{GIRO} : Radio de giro real considerando la polea y el cable de sujeción (mm).

$\theta = 2\pi$ Rad Angulo de giro correspondiente a una revolución del encóder

D_{PG} : Diámetro de la polea grande o principal (mm)

D_C : Diámetro del cable de sujeción (mm)

Teniendo como datos:

D_{PG} : 605,989 mm, D_C : 3,161mm y las resoluciones ofrecidas por el proveedor estimamos el valor de K de acuerdo a la ecuación (1)

Tabla 5 Nuevos valores para la constante de la campana

Pulsos/revolución	K_{BELL} [mm/pulso]
250.000	0,0076548
500.000	0,0038274
1000.000	0,0019137

Nota: El valor actual de la campana es de 0.00786921 (mm/pulsos)

5.2 SISTEMA CONTROL

La base de la optimización en esta parte se trata en estar a la vanguardia con la tecnología en lo que se refiere a OPTO 22 que es el conjunto (software-hardware) que controla la campana.

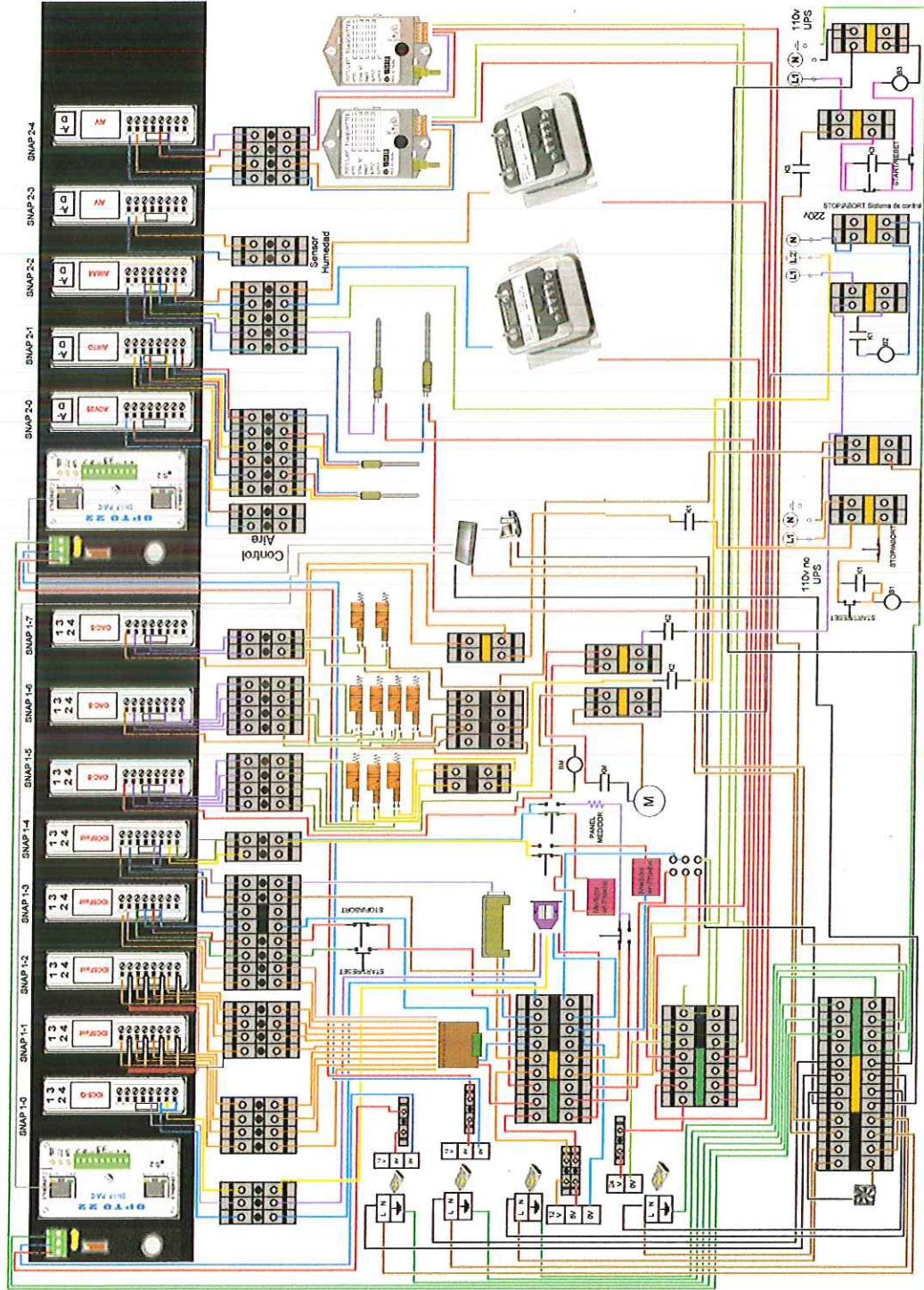
La tecnología de control con que cuenta la campana actualmente es vieja. A continuación se listan unas desventajas que presenta esta tecnología y que no presenta la nueva tecnología PAC Project:

- Escaso soporte técnico en la actualidad
- El control está basado en el ciclo de maquina del pc. Grave inconveniente ya que si se llegara a presentar una falla en el pc inmediatamente se suspenderían las calibraciones en la campana.

Una parada no planeada de la campana por motivo de alguna falla en el PC implicaría una gran pérdida de dinero para la corporación, por eso se hace necesario actualizar el sistema de control de la campana.

Se desarrollo un plano para la parte eléctrica y electrónica, con el nuevo sistema de control. Conformado por dos controladores un R1 en cargado de la recepción de señales digitales como la señal del encóder que gracias a la cualidad de conteo de señales digitales de alta velocidad es necesario puesto que el encóder adquirido por la corporación es de 1'000.000 de pulsos por revolución. Y un R2 encargado de la recepción y generación de las señales análogas, de resistencia voltaje y corriente provenientes de las RTD's, barómetros o la señal de voltaje que se genera para el control del aire acondicionado del cuarto. Ver *Figura 16*.

Figura 16 Plano Eléctrico Campana Gasométrica Total



Fuente: Autor

Nota: para ver con más detalle el plano eléctrico revisar el anexo 3 que se encuentra en el CD.

Para finalizar se hace una descripción general del sistema de adquisición y control junto con la instrumentación secundaria que se estará implementando en el patrón tipo Campana Gasométrica de la corporación CDT de gas.

Tabla 6 Hardware Patrón Tipo Campana Gasométrica

ELEMENTO	CANTIDAD	SEÑAL DE OPERACION	SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS		UNIDAD DE PROCESAMIENTO
			COMUNICACION	TAREA ESPECIFICA	
Controlador SNAP-PAC R1	1	Análogo-Digital	Ethernet	Adquisición de datos y control	NA
Controlador SNAP-PACK R2	1	Análogo-Digital	Ethernet	Adquisición de datos	
modulo (Snap) IDC 5-Quadrature	1	Digital	Rack de Conexiones	Detección de Pulsos Cuadratura del encóder	Controlador SNAP-PAC R1
modulo (Snap)IDC 5-fast	4	Digital	Rack de Conexiones	Detección de Pulsos de los sensores de nivel, de los pulsos emitidos por el sensor óptico y de los pulsos del MUT	
modulo (Snap) OAC5	3	Análoga AC	Rack de Conexiones	Activación Electroválvulas y Blower	Controlador SNAP-PACK R2
modulo (Snap) AOV5	1	Análoga DC	Rack de Conexiones	Salida de Control para el Aire Acondicionado	
modulo (Snap) AIRTD	1	Análoga	Rack de Conexiones	Lectura de los Sensores de Temperatura	Controlador SNAP-PACK R2
modulo (Snap) AIMA4	1	Análoga Dc	Rack de Conexiones	Lectura de señales de 4 a 20 ma	
modulo (Snap) AIV	2	Análoga DC	Rack de Conexiones	Lectura sensor de humedad y barómetros	

Tabla 7 Instrumentación Secundaria Patrón Tipo Campana Gasométrica

ELEMENTO	CANTIDAD	UNIDADES	INSTRUMENTACIÓN SECUNDARIA				UNIDAD DE PROCESAMIENTO
			ALCANCE	Comunicación	ALIMENTACIÓN		
Encóder en Cuadratura CP-950-HHC	1	Pulsos	1'000.000 pulsos por revolución	Señal Digital	5 volts Dc	modulo (snap) IDC5-Cuadratura	
Sensores de Magnéticos Discretos	9	Pulsos	1	Señal Digital	5 volts Dc	modulo (Snap)IDC 5-fast	
Sensor Óptico NAIS UZF1201	1	Pulsos	1	Señal Digital	12 volts Dc	modulo (Snap)IDC 5-fast	
Barómetro VAISALA PTV 100A	2	hPa	800 a 1060	lazo de 4 a 20 mA	24 volts Dc	modulo (Snap) AIV	
Diferencial de presión ASHCROFT XLdp	2	Psi	10 a 25	lazo de 4 a 20 mA	24 volts Dc	modulo (Snap) AIMA4	
RTD PT-100	2	Ohms	0°C -> 100 ohm	valor de resistencia	NA	modulo (Snap) AIRTD	
RTD PT-100	2	Ohms	0°C -> 100 ohm	lazo de 4 a 20 mA	24 volts Dc	modulo (Snap) AIMA4	
Sensor de Humedad HONEYWELL H7011B1008-4	1	Humedad Relativa	5-95%	lazo de voltaje 5 a -5 volts dc	NA	modulo (Snap) AIV	

6. CONCLUSIONES

6.1 CONCLUSIONES RESBALAMIENTO ENTRE POLEAS

- Las desviaciones presentadas son pequeñas, siendo la más alta de 5,5 pulsos (Ver Figura 5).
- Las mayores desviaciones se presentaron al mayor caudal.
- La prueba con la modificación realizada a la operación de la campana resulto ser buena, ya que presento las más bajas desviaciones.
- De acuerdo a los resultados queda descartada la hipótesis sobre el posible resbalamiento entre poleas.
- Las pruebas con secundarios y sin secundarios no presentaron cambios significativos, comprobando el buen estado del controlador.

6.2 CONCLUSIONES DETERMINACIÓN DE LA EXCENRICIDAD DE LA POLEA PEQUEÑA DE LA CAMPANA

- La mayor excentricidad que presento la polea fue de 18 μm .
- Para un mismo volumen se probaron distintos caudales y el medidor de carátula posicionaba su aguja en las mismas posiciones, esta observación lleva a concluir que la excentricidad en operación no depende del caudal.
- Durante los últimos 100 dm^3 de volumen de la campana, el medidor de caratula prácticamente no desplazó su aguja, lo que lleva a concluir que la excentricidad registrada en la polea pequeña no es por su geometría (ya que en 100 L da aprox. 1,3 vueltas) sino por la geometría de la polea principal.

6.3 CONCLUSIONES EVALUACIÓN DE LOS PULSOS EMITIDOS POR EL ENCÓDER

- Según los resultados de la prueba, a mayor caudal mayor es la desviación
- Al caudal más bajo la desviación fue nula, y la mayor desviación tan solo fue de cuatro (4) pulsos y se presentó al mayor caudal.

6.4 CONCLUSIONES COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL ACEITE CON IMPLEMENTACIÓN DE MODIFICACIÓN EN LA ESTRATEGIA DE CONTROL

- La tendencia de la temperatura del aceite es a estabilizarse (alcanzar 20,1°C), y aproximadamente 950 minutos (más o menos 16 horas) en alcanzar este punto con la mejora implementada.
- Las razones por las cuales el aceite demora tanto tiempo en estabilizarse (disminuir 5°C) son la gran masa de aceite presente en la campana y el alto calor específico (propiedad termodinámica) del aceite.
- Con la mejora implementada 11 horas de tiempo de encendido el aire acondicionado antes de una calibración son suficientes siempre y cuando la temperatura inicial del aceite no sea mayor a 26°C para garantizar la estabilidad de todas las temperaturas en el cuarto y así poder ejecutar una calibración sin problemas.

6.5 CONCLUSIONES RESULTADOS QUE SE OBTIENEN AL AISLAR TÉRMICAMENTE LA TUBERÍA DE SALIDA DE LA CAMPANA

- Al aislar la tubería de salida de la campana se obtiene una menor desviación en la temperatura, es decir, la temperatura se enmarca en un intervalo de valores menor que si no estuviera aislada la tubería.
- Al aislar se obtiene un mejor control de la temperatura a la salida de la campana.

Nota: La temperatura en el medidor no se ve afectada al aislar o no la tubería a la salida de la campana.

6.6 CONCLUSIONES ESTUDIO DE LA POSIBILIDAD DE IMPLEMENTAR UN ENCÓDER DIRECTAMENTE AL EJE DE LA POLEA PRINCIPAL

- La inversión en este encóder se justifica, ya que eliminaríamos las fuentes de incertidumbre que existen con respecto a la transmisión a la polea pequeña.