

**Control de presión en la línea de succión de los compresores reciprocantes para la  
optimización del sistema de inyección de gas del CPF Cusiana**

Crisanto Giovanni Rodríguez Contreras

Asesor

Miguel Eduardo Ordoñez Mosquera

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías ECBTI

Ingeniería Electrónica

2025

## Resumen

La optimización del sistema de inyección de gas en instalaciones como el Centro de Facilidades de Producción (CPF) Cusiana es crucial para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en la industria del petróleo y gas. Este proceso, fundamental para mantener la presión en los yacimientos y aumentar la producción, requiere un monitoreo y control precisos para asegurar su eficacia y seguridad (Pérez Agudelo & Potosi Hernández, 2014). La instalación y calibración precisa de instrumentos como transmisores de presión (PIT-30704), válvulas de seguridad (SDV-30704) y válvulas de control (PV-30704) son esenciales para lograr estos objetivos. Además, el uso del protocolo HART permite una calibración más precisa, asegurando que los instrumentos funcionen correctamente bajo condiciones operativas exigentes.

La automatización del proceso mediante cableado adecuado facilita una comunicación efectiva entre los instrumentos y el cuarto de control centralizado. Esto mejora significativamente la respuesta a cambios en las condiciones operativas, lo que resulta en una mayor productividad al tiempo que se minimizan riesgos asociados con gases a alta presión. El proyecto busca reducir costos operativos mientras se mantiene un alto nivel de seguridad durante todo el proceso.

**Palabras clave:** Compresión, Automatización, Control, Eficiencia, Optimización.

## Abstract

The optimization of the gas injection system in facilities such as the Cusiana Production Facility (CPF) is crucial for improving operational efficiency and reducing costs in the oil and gas industry. This process, essential for maintaining reservoir pressure and increasing production, requires precise monitoring and control to ensure its effectiveness and safety (Perez Agudelo & Potosi Hernández, 2014). The accurate installation and calibration of instruments such as pressure transmitters (PIT-30704), safety valves (SDV-30704), and control valves (PV-30704) are critical to achieving these objectives. Additionally, the use of the HART protocol allows for more precise calibration, ensuring that the instruments function correctly under demanding operational conditions.

The automation of the process through proper wiring facilitates effective communication between the instruments and the centralized control room. This significantly improves the response to changes in operational conditions, resulting in increased productivity while minimizing risks associated with high-pressure gases. The project aims to reduce operational costs while maintaining a high level of safety throughout the process.

**Keywords:** Compression, Automation, Control, Efficiency, Optimization.

## Tabla de Contenido

Introducción .....	10
Justificación.....	12
Objetivos .....	15
Objetivo General: .....	15
Objetivos Específicos: .....	15
Marco de Referencia .....	16
Estado del Arte .....	16
Marco Contextual .....	17
Marco Teórico .....	18
Marco Conceptual.....	19
Marco Normativo .....	21
Metodología .....	23
Resultado.....	25
FASE 1. Instalación de transmisor de presión (PIT-30704).....	25
FASE 2: Instalación de la válvula (SDV-30704) Shut Down Valve.....	29
fase 3, instalación de manómetro indicador de presión (pi-30704).....	32
FASE 4: Instalación de válvula de control (PV-30704). .....	34

FASE 5: instalación de transmisor (PIT-30705) .....	39
FASE 6: instalación del cableado de control para la válvulas y transmisores.....	42
Análisis de resultados.....	51
Fase 1: transmisor indicador de presión (pit-30704).....	51
Fase 2: válvula (sdv-30704) shut down valve.....	52
Fase 3, manómetro indicador de presión (PI-30704).....	53
Fase 4: válvula de control (PV-30704).....	53
Fase 5: transmisor indicador de presión (pit-30705).....	53
Fase 6: cableado de control para la válvulas y transmisores.....	54
Conclusiones .....	55
Bibliográfica.....	56
Apéndices.....	58

## Listado de Tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Resultados Pruebas (PIT-30704)</i> .....	44
<b>Tabla 1</b> <i>Resultados Pruebas (PIT-30705)</i> .....	46
<b>Tabla 3</b> <i>Resultados Pruebas (PI-30704)</i> .....	47
<b>Tabla 4</b> <i>Resultados Pruebas (SDV-0704)</i> .....	48
<b>Tabla 5</b> <i>Resultados Pruebas (PV-30704)</i> .....	49
<b>Tabla 6</b> <i>Resultados Pruebas de Aislamiento</i> .....	50

## Lista de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Línea de Succión de los Compresores de Alta</i> .....	25
<b>Figura 2</b> <i>Maniobra de Torque Monoflange (PIT-30704)</i> .....	26
<b>Figura 3</b> <i>Tubing 1/2" Instalado</i> .....	26
<b>Figura 4</b> <i>Transmisor (PIT-30704)</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Conexión de Cableado en el Transmisor</i> .....	28
<b>Figura 6</b> <i>Calibración del Transmisor (PIT-30704)</i> .....	28
<b>Figura 7</b> <i>P&amp;ID Válvula (SDV-30704) de 4"</i> .....	29
<b>Figura 8</b> <i>Torque de Válvula (SDV-30704)</i> .....	30
<b>Figura 9</b> <i>Válvula (SDV-30704) Instalada</i> .....	30
<b>Figura 10</b> <i>Prueba de Apertura y Cierre</i> .....	31
<b>Figura 11</b> <i>P&amp;ID Manómetro (PI-30704)</i> .....	32
<b>Figura 12</b> <i>Torque Junta Bridadas con Monoflange</i> .....	33
<b>Figura 13</b> <i>(PI-30704) Instalado en Campo</i> .....	33
<b>Figura 14</b> <i>P&amp;ID Válvula (PV-30704)</i> .....	34
<b>Figura 15</b> <i>Válvula de Control (PV-30704)</i> .....	35
<b>Figura 16</b> <i>Instalación de Válvula (PV-30704)</i> .....	36
<b>Figura 17</b> <i>Torque de Válvula (PV-30704)</i> .....	36

<b>Figura 18</b> <i>Calibración de válvula (PV-30704) con el Proveedor</i> .....	37
<b>Figura 19</b> <i>Calibración de Válvula (PV-30704) por Global Tech</i> .....	38
<b>Figura 20</b> <i>P&amp;ID Transmisor de Presión (30704)</i> .....	39
<b>Figura 21</b> <i>Instalación de Monoflange 3/4"</i> .....	40
<b>Figura 22</b> <i>Transmisor Indicador de Presión (PIT-30705)</i> .....	40
<b>Figura 23</b> <i>Calibración Transmisor (30705)</i> .....	41
<b>Figura 24</b> <i>Instalación de Cableado de Control en Campo</i> .....	42
<b>Figura 25</b> <i>Instalación de Cableado en la Subestación 14</i> .....	43
<b>Figura 26</b> <i>Gabinetes I95-SIS-1413, I95-SIS-1414, I95-DCS-1409</i> .....	43
<b>Figura 27</b> <i>Calibración PIT-30704</i> .....	44
<b>Figura 28</b> <i>Calibración PIT-30705</i> .....	45
<b>Figura 29</b> <i>Manómetro Indicador de Presión Local PI-30704</i> .....	46
<b>Figura 30</b> <i>Válvula de Seguridad SDV-30704</i> .....	47
<b>Figura 31</b> <i>Válvula de Control PV-30704</i> .....	48
<b>Figura 32</b> <i>Pruebas de Aislamiento del Cableado</i> .....	49
<b>Figura 33</b> <i>P&amp;ID de OSIG</i> .....	51

## Lista de Apéndices

<b>Apéndice A</b> FOR- EDO-041 (CUMFCCFC72NGTRIM1K2A1.1-1.0 (ISO TRIM1 OSIG)( UB-01) .....	58
<b>Apéndice B</b> FOR-EDO-003 Reporte No. 02 .....	59
<b>Apéndice C</b> FOR- EDO-041 Reporte de Torque, CUMFCCFC74NG30934K2A1.2-3.0 (ISO Control de Presión) (UB-01).....	60
<b>Apéndice D</b> FOR-EDO-003 Reporte No. 01 .....	61
<b>Apéndice E</b> FOR- EDO-041 Número de Identificación (UB-03).....	62
<b>Apéndice F</b> FOR-EDO-003 Reporte No. 4 .....	63
<b>Apéndice G</b> FOR- EDO-041 Número de Identificación (UB-04) .....	64
<b>Apéndice H</b> FOR-EDO-003 Reporte No. 05 .....	65
<b>Apéndice I</b> FOR- EDO-041 Número de Identificación (UB-04).....	66
<b>Apéndice M</b> FOR-EDO-003 Reporte No. 03 .....	67
<b>Apéndice N</b> Certificado de Calibración No. CMK-ELEM-23662 .....	68

## Introducción

La optimización del sistema de inyección de gas en instalaciones como el CPF Cusiana es un aspecto crucial para mejorar la eficiencia operativa y reducir costos en la industria del petróleo y gas. La inyección de gas es un proceso fundamental que ayuda a mantener la presión en los yacimientos y aumentar la producción de hidrocarburos. Sin embargo, este proceso requiere un monitoreo y control precisos para asegurar su eficacia y seguridad. La instalación y calibración de instrumentos como transmisores de presión, válvulas de control y seguridad, y manómetros son esenciales para lograr estos objetivos.

En el contexto del CPF Cusiana, la optimización del sistema de inyección de gas implica la instalación de transmisores de presión como el PIT-30704, que permiten el registro y monitoreo continuo de la presión en la línea de succión de los compresores. Además, la implementación de válvulas de seguridad como la SDV-30704 y válvulas de control como la PV-30704 es vital para garantizar el funcionamiento seguro y eficiente del sistema. Estas válvulas permiten detener el flujo de fluidos en caso de emergencia o aislar secciones del sistema cuando sea necesario.

La calibración de estos instrumentos mediante protocolos como HART es fundamental para asegurar su precisión y fiabilidad. Además, la instalación de cableado de control adecuado permite la comunicación efectiva entre los instrumentos y el cuarto de control, facilitando la automatización del proceso y mejorando la respuesta a cambios en las condiciones operativas.

Este trabajo se centra en la instalación, calibración y automatización de estos sistemas, con el objetivo de mejorar significativamente la eficiencia y seguridad del proceso de inyección de gas en el CPF Cusiana. A través de la implementación de estas

mejoras, se busca reducir costos operativos, mejorar la productividad y minimizar los riesgos asociados con el manejo de gases a alta presión.

## **Justificación**

Solución al problema de sobrepresión.

Este proyecto tiene como propósito principal abordar y solucionar la problemática de la sobrepresión en la línea de succión de los compresores recíprocos. Estas sobrepresiones han generado paradas automáticas en los equipos, lo que conlleva la necesidad de quemar gas para regular la presión, impactando negativamente la eficiencia y generando pérdidas económicas considerables.

La incorporación de una línea de recirculación con una válvula de control (PV-30704) y una válvula de seguridad (SDV-30704), además de los transmisores de presión (PIT-30704 y PIT-30705), facilita el alivio de la presión en la línea de succión, evitando así paradas imprevistas y asegurando una operación segura y continua.

Reducción de pérdidas de gas y costos operacionales.

Antes de la implementación de este sistema, los eventos de sobrepresión en la línea de succión provocaban paradas automáticas, obligando a la quema de aproximadamente 562,500 MMSCFD de gas por incidente.

Al eliminar estas paradas no programadas y prevenir la quema innecesaria de gas, el proyecto logra una reducción significativa en las pérdidas de gas y en los costos operativos, aumentando la rentabilidad y sostenibilidad del proceso.

Mejora en la eficiencia y continuidad operativa.

El sistema permite optimizar la inyección de gas al garantizar que la presión de succión de los compresores se mantenga dentro de los valores seguros de operación.

Con la integración de la válvula de control de presión PV-30704 y el sistema de instrumentación automatizado, el gas se desvía desde el cabezal de succión de los

compresores reciprocantes hacia los compresores de media presión, lo que permite un funcionamiento continuo y fiable del sistema de inyección de gas.

#### Seguridad en la operación.

La instalación de la válvula de seguridad (SDV-30704) garantiza que el sistema opere dentro de los parámetros de seguridad establecidos.

En caso de que la presión supere los límites permitidos, la válvula de seguridad se activa de manera automática, protegiendo los equipos y salvaguardando al personal.

#### Cumplimiento Normativo y Responsabilidad Ambiental

La minimización de la quema innecesaria de gas ayuda a reducir las emisiones contaminantes, cumpliendo con las regulaciones ambientales y promoviendo la sostenibilidad en el sector energético.

Este proyecto contribuye a la protección del medio ambiente y asegura el cumplimiento de normativas ecológicas, reforzando el compromiso con la responsabilidad social y ambiental.

#### Aplicación de mejores prácticas.

El proyecto se ajusta a las mejores prácticas en la optimización de sistemas de inyección de gas, integrando tecnologías avanzadas de monitoreo y control. La calibración precisa de los instrumentos y su vinculación con sistemas automatizados mejoran la eficiencia, seguridad y confiabilidad del proceso.

Este proyecto es esencial para resolver problemas operativos clave, reducir pérdidas de gas, mejorar la eficiencia operativa, garantizar la seguridad, fomentar la sostenibilidad ambiental y promover la mejora continua en el CPF Cusiana.

La implementación de la línea de recirculación y su sistema de control es crucial para garantizar la continuidad y eficiencia del proceso de inyección de gas, minimizando

los riesgos inherentes al manejo de gases a alta presión y asegurando una operación segura y sustentable a largo plazo.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Optimizar el sistema de inyección de gas en el CPF Cusiana para mitigar los eventos de sobrepresión en la línea de succión de los compresores reciprocantes, mediante la instalación y calibración de instrumentos de control y monitoreo, mejorando así la eficiencia, seguridad y continuidad operativa del proceso.

### **Objetivos Específicos**

Instalar y calibrar transmisores de presión y válvulas para monitorear y controlar la presión, evitando eventos de sobrepresión en la línea de succión.

Implementar un sistema de automatización que permita ajustar automáticamente la presión en función de los parámetros establecidos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo riesgos de accidentes.

## Marco de Referencia

### Estado del Arte

El presente proyecto se enfoca en la optimización del sistema de inyección de gas en el Centro de Facilidades de Producción (CPF) Cusiana, mediante la implementación de un lazo de control que involucra la instalación, calibración y automatización de diversos instrumentos. En este contexto, el estado del arte en la optimización de sistemas similares se caracteriza por la aplicación de tecnologías avanzadas de control y monitoreo para mejorar la eficiencia operativa y la seguridad de las instalaciones.

Una revisión de las prácticas actuales revela la importancia de la instalación de transmisores de presión (PIT), válvulas de seguridad (SDV) y válvulas de control (PV) como componentes esenciales para el monitoreo y control precisos del sistema de inyección de gas. Estos instrumentos permiten el registro continuo de la presión y el flujo, así como la respuesta rápida ante situaciones de emergencia (Perez Agudelo & Potosi Hernández, 2014).

La calibración de estos instrumentos mediante protocolos estandarizados, como HART, es fundamental para asegurar la precisión y fiabilidad de las mediciones. Como se evidencia en el proyecto, la calibración se realiza en dos etapas (ascendente y descendente) y se documenta minuciosamente en formatos específicos, asegurando la trazabilidad y validez de los resultados. (Gao y otros, 2024).

Además, la integración de estos instrumentos en un sistema de control automatizado permite ajustar automáticamente la presión en función de los parámetros establecidos, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo los riesgos de accidentes. La instalación de

cableado de control adecuado, conectado a un PLC y visualizado en el cuarto de control, facilita la supervisión y el control del sistema por parte de los operadores.

En conclusión, el estado del arte en la optimización de sistemas de inyección de gas se centra en la implementación de tecnologías avanzadas de control y monitoreo, la calibración precisa de los instrumentos y la integración de estos en sistemas automatizados que permitan mejorar la eficiencia, la seguridad y la fiabilidad de las operaciones.

### **Marco Contextual**

El proyecto se desarrolla en el Centro de Facilidades de Producción (CPF) Cusiana, ubicado en Tauramena, Casanare. Esta instalación es un centro clave en la producción de hidrocarburos en la región, con un enfoque en el bombeo de gas. El CPF Cusiana cuenta con diversas unidades y equipos esenciales para el procesamiento de petróleo y gas, incluyendo compresores, sistemas de separación y plantas de tratamiento.

El sistema de inyección de gas en el CPF Cusiana juega un papel fundamental en la operación de la planta, contribuyendo a mejorar la inyección de gas a los patines de gas ventas. El lazo de control implementado en este proyecto tiene como objetivo principal evitar la sobrepresión en la línea de succión de los compresores, lo que previene el apagado de estos por alta presión y la necesidad de quemar gas durante el proceso de normalización.

Sin embargo, la operación del sistema de inyección de gas en el CPF Cusiana enfrenta desafíos específicos. Uno de los principales desafíos es la gestión de la sobrepresión en la línea de succión de los compresores, lo que puede causar interrupciones en la producción y aumentar los costos operativos. Además, se requiere mantener un flujo de gas constante las 24 horas del día, lo que exige una operación continua y eficiente del sistema.

## Marco Teórico

### 1. Optimización del sistema de recirculación en la succión de los compresores

En sistemas de inyección de gas, la estabilidad de presión en la succión de los compresores es crítica para mantener la continuidad operativa y evitar paradas no programadas. En el Centro de Instalaciones de Producción (CPF) Cusiana, los compresores recíprocos entregan un volumen aproximado de 27 MMSCFD, y su operación depende de que la presión en la succión se mantenga dentro de los límites establecidos.

Antes de la implementación del lazo de control de recirculación, las sobrepresiones en la línea de succión de los compresores ocasionaban paradas automáticas de los equipos. Para aliviar la presión, era necesario desviar gas hacia las TEAS, donde se quemaba hasta que la presión descendiera por debajo de 1250 PSI. Este proceso tomó hasta 30 minutos, resultando en una pérdida de aproximadamente 562,500 MMSCFD de gas quemado por cada evento. (Ecopetrol, 2023)

La implementación de la válvula de control de presión PV-30704, junto con un sistema de instrumentación automatizado, ha permitido aliviar estas sobrepresiones desviando el gas desde el cabezal de succión de los compresores recíprocos hacia los compresores de media presión, garantizando así una operación confiable y continua del sistema de inyección de gas. (Chen, 2012). (Kennett y Latwesen, 2010).

### 2. Instrumentación y automatización del lazo de control

El lazo de control instalado en el sistema de recirculación está diseñado para mantener la presión de succión de los compresores por debajo de 1250 PSI, evitando disparos automáticos y la necesidad de quemar gas. Para ello, se han instalado los siguientes componentes clave:

Transmisores de presión (PIT-30704 y PIT-30705): Monitorean la presión en la succión y recirculación del gas.

Válvula de control (PV-30704): Regula la recirculación del gas entre la succión de los compresores reciprocantes y los compresores de media presión.

Válvula de seguridad (SDV-30704): Cierra el flujo si la presión supera los límites de seguridad establecidos.

Sistema de comunicación HART: Permite calibraciones y ajustes remotos para garantizar mediciones precisas.

PLC y monitoreo en cuarto de control: Asegura que la respuesta del lazo de control sea rápida y eficiente.

### 3. Impacto operativo y reducción de pérdidas

Con la nueva instrumentación y el lazo de control instalado, se ha logrado:

Eliminar paradas no programadas de los compresores, asegurando la continuidad de la inyección de gas.

Evitar la quema innecesaria de gas, reduciendo las pérdidas de 562,500 MMSCFD por evento.

Optimizar el uso del gas disponible, mejorando la eficiencia operativa de CPF Cusiana.

Aumentar la confiabilidad del sistema, permitiendo un control automatizado que mantiene la presión dentro de los valores óptimos.

### **Marco Conceptual**

El presente proyecto de optimización del sistema de inyección de gas en el CPF Cusiana se basa en los siguientes conceptos fundamentales:

1. **Optimización:** Proceso de mejorar el rendimiento de un sistema o proceso, maximizando la eficiencia, la productividad y la seguridad, al tiempo que se minimizan los costos y los riesgos.
2. **Sistema de Inyección de Gas:** Conjunto de equipos e instrumentos diseñados para inyectar gas a alta presión en un yacimiento petrolífero, con el fin de mantener la presión, mejorar la recuperación de hidrocarburos y aumentar la producción.
3. **Lazo de Control:** Sistema de control automático que mantiene una variable del proceso (como la presión) en un valor deseado, mediante la medición continua de la variable, la comparación con el valor de referencia (setpoint) y el ajuste de un elemento de control (como una válvula) para corregir las desviaciones.
4. **Transmisor de Presión (PIT):** Instrumento que mide la presión de un fluido y transmite una señal eléctrica proporcional a la presión medida, permitiendo el monitoreo y control remoto de la presión. En este proyecto, se utiliza el transmisor de presión PIT-30704 para medir la presión en la línea de succión de los compresores.
5. **Válvula de Seguridad (SDV):** Dispositivo de seguridad diseñado para detener automáticamente el flujo de fluido en caso de emergencia o cuando se superan los límites de seguridad preestablecidos. En este proyecto, se utiliza la válvula SDV-30704 para proteger el sistema contra sobrepresiones.
6. **Válvula de Control (PV):** Válvula que modula el flujo de un fluido en respuesta a una señal de control, permitiendo ajustar la presión, el caudal o la temperatura del proceso. En este proyecto, se utiliza la válvula PV-30704 para controlar el flujo de gas en la línea de inyección.

7. Manómetro (PI): Instrumento que indica visualmente la presión de un fluido en un punto específico del sistema. En este proyecto, se utiliza el manómetro PI-30704 para verificar la presión en la línea de recirculación.
8. Protocolo HART: Protocolo de comunicación digital que permite la comunicación bidireccional entre los instrumentos de campo y el sistema de control, facilitando la configuración, calibración, diagnóstico y mantenimiento de los instrumentos.
9. Automatización: Uso de sistemas de control y software para operar un proceso de manera autónoma, reduciendo la intervención humana y mejorando la eficiencia y la seguridad.
10. Calibración: Proceso de ajuste de un instrumento de medición para asegurar que sus lecturas sean precisas y confiables, comparándolas con un estándar de referencia y realizando las correcciones necesarias.

### **Marco Normativo**

Normas de Seguridad:

OSHA (Occupational Safety and Health Administration): Normas de seguridad y salud ocupacional para proteger a los trabajadores en el lugar de trabajo. Se aplican a la instalación, operación y mantenimiento de equipos y sistemas en el CPF Cusiana.

NFPA (National Fire Protection Association): Normas para la prevención de incendios y explosiones. Se aplican al diseño, instalación y mantenimiento de sistemas de detección y extinción de incendios, así como a la manipulación de materiales inflamables y combustibles.

Normas de Calidad:

ISO 9001 (Sistema de Gestión de la Calidad): Estándar internacional para sistemas de gestión de la calidad. Se aplica a los procesos de diseño, fabricación, instalación, calibración y mantenimiento de equipos e instrumentos utilizados en el proyecto.

Estándares de Instrumentación:

ISA (International Society of Automation): Estándares para la instrumentación y el control de procesos. Se aplican a la selección, instalación, calibración y mantenimiento de instrumentos de medición y control utilizados en el proyecto, como transmisores de presión, válvulas de control y manómetros.

Normas Técnicas Colombianas:

NTC (Norma Técnica Colombiana): Normas técnicas desarrolladas por el ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) que establecen los requisitos para la calidad, seguridad y desempeño de productos, procesos y servicios. Se aplican a la fabricación, instalación y operación de equipos y sistemas utilizados en el proyecto.

Código ASME

ASME PCC-1: como lo indica el documento, esta norma aplica para el torque controlado de las uniones bridadas

## Metodología

La metodología implementada en este proyecto se diseñó con el propósito de garantizar la instalación, calibración e integración eficiente de los instrumentos de control y medición asociados al sistema de inyección de gas del CPF Cusiana, cumpliendo con los lineamientos técnicos, normativos y de seguridad industrial requeridos

El desarrollo corresponde a un proyecto de tipo aplicado con enfoque descriptivo–experimental, orientado a la solución de una problemática operacional específica: la sobrepresión en la línea de succión de los compresores recíprocos. La estrategia metodológica combina actividades de campo, pruebas técnicas y procedimientos de control para implementar mejoras en el sistema.

### Criterios técnicos y operativos

La definición de las actividades y la selección de equipos e instrumentos se basó en los siguientes criterios:

**Cumplimiento normativo:** aplicación de la norma ASME PCC-1 para torque controlado, protocolos de calibración HART y estándares ISA para instrumentación y control de procesos.

**Compatibilidad y confiabilidad:** elección de equipos con rangos de operación adecuados y certificaciones que garanticen precisión y durabilidad en condiciones operativas exigentes.

**Seguridad industrial:** instalación bajo procedimientos de control de fugas, aislamiento eléctrico y pruebas de integridad.

**Optimización operativa:** reducción de paradas no programadas, disminución de pérdidas de gas y mejora de la eficiencia del proceso.

### Etapas metodológicas generales

Instalación mecánica de instrumentos: montaje de transmisores de presión, válvulas de seguridad, válvulas de control y manómetro en punto estratégicos de la línea de recirculación.

Acoples y uniones controladas: empleo de juntas bridadas, monoflanges y torque certificado según norma ASME PCC-1.

Interconexión neumática y eléctrica: tendido de cableado de control y señal, instalación de tubería neumática y accesorios de conexión.

Calibración de instrumentos: uso de comunicador de procesos y protocolo HART en pruebas ascendentes y descendentes, verificando correspondencia de lecturas en campo y en cuarto de control.

Integración al sistema de control: conexión a PLC, configuración de la lógica de control y verificación de comunicación con la sala de control centralizada.

Pruebas de funcionamiento y validación: ejecución de maniobras operativas, registro de datos y verificación del cumplimiento de parámetros de diseño.

### Técnicas e instrumentos de recolección de información

Se emplearon registros documentales internos (formatos FOR-EDO-003 y FOR-EDO-041), evidencias fotográficas, mediciones directas de presión, señales eléctricas y registros históricos del sistema, con el fin de validar cada una de las fases de instalación y calibración.

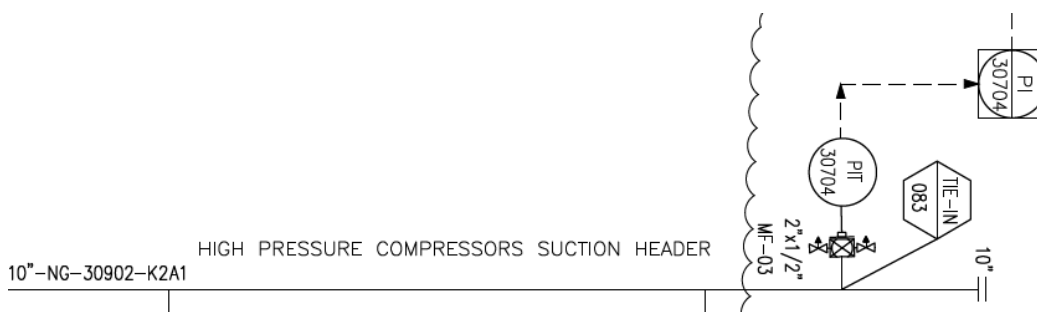
## Resultado

### Fase 1. Instalación de Transmisor De Presión (PIT-30704).

Si instalo el transmisor de presión (PIT-30704) en la línea de succión 10"-NG-30902-K2A1 para el registro, monitoreo y control de la presión.

### Figura 1

*Línea de Succión de los Compresores de Alta*



*Nota.* Adaptado de “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana” Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. s.f. 2020, P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1.

Como se muestra en la figura 1, se instaló el transmisor de presión identificado con tag (PIT-30704), este instrumento se instala por medio de uniones bridadas, instalando un monoflange (FLANGE // MONOFLANGE, SIZE: 2 IN X 1/2 IN CLASS: 1500, END: RING JOINT) se torque bajo la norma ASME PCC-1 a una presión de (200 Lb/ft), para esta maniobra se implementa el torquímetro de clic serie (DQD21570) modelo (6014C) Clase Unión: BRIDADA 2” 1500# lo anterior se guarda registro en el formato FOR- EDO-041 (CUMFCCFC72NGTRIM1K2A1.1-1.0 (ISO TRIM1 OSIG)( UB-01)) (véase Apéndice A).

**Figura 2***Maniobra de Torque Monoflange (PIT-30704)*

*Nota.* Elaboración propia.

Seguido de la instalación de monoflange se instala en la parte superior del mismo el tubing de 1/2" con Schedule 0.86 que llevara la presión del gas hasta el transmisor.

**Ilustración 3***Tubing 1/2" SCH 0.86 instalado*

*Nota.* Elaboración propia.

Como se muestra en la figura 3, se instaló el tubing de ½” con Schedule 0.86 y se realiza prueba de fugas con solución jabonosa se evidencia el correcto sellado con la no presencia de burbujas en el área de la instalación, de igual forma se evidencia en la figura 4 la no presencia de fugas mediante el uso de solución jabonosa en la conexión del tubing al transmisor.

#### **Figura 4**

*Transmisor (PIT-30704)*



*Nota.* Elaboración propia.

Siguiendo con la instalación del transmisor se procede con el cableado para el lazo de control y la comunicación en el cuarto de control para el monitoreo y control del registro de presión, como se evidencia en la figura 4, se instalan los accesorios para realizar el cableado de la señal, en el transmisor se instala un codo de 90° diámetro de ½”, seguido de una seño corta fuego con diámetro de ½” y un tubo flexiconduit metálico de ½”, por la parte interna de estos accesorios se instaló el cable de (1x2x14 AWG + SH 600V) que será para la señal de control que comunicará al operador el registro de la presión que toma el transmisor y ejercerá el control automatizado sobre la válvula (PV-30704).

**Figura 5***Conexión de Cableado en el Transmisor*

*Nota.* Elaboración propia.

Se realiza la instalación de cableado como se evidencia en la figura 5, que lleva la señal de control del transmisor (PIT-30704) este cableado va hasta la subestación 14 por bandejas porta cables donde se conecta en el PLC para la programación de la señal y ser evidenciado en cuarto de control por el operario, ahora se procede a realizar la calibración del transmisor.

**Figura 6***Calibración del Transmisor (PIT-30704)*

*Nota.* Elaboración propia.

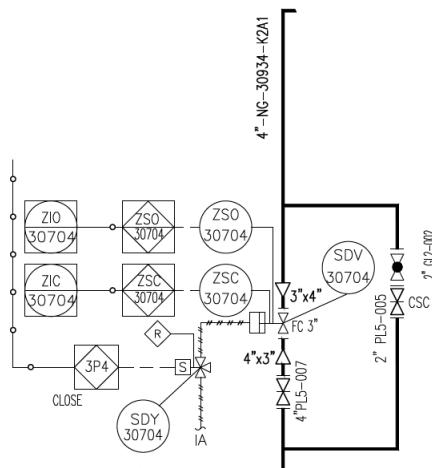
Se realizó la calibración del instrumento transmisor (PIT-30704), mediante el protocolo HART, se realiza la calibración en dos etapas Ascendente y Descendente como se muestra en la figura 6 se deja evidencia de la calibración en el formato FOR-EDO-003 REPORTE No. 02 documento registro de calibración de instrumentos del Dossier de construcción (véase Apéndice B),

### Fase 2: Instalación de la Válvula (SDV-30704) Shut Down Valve

Se procede a realizar la instalación de la válvula (SDV-30704) Shut Down Valve de 4" en la línea de recirculación 4"-NG-30934-K2A1, este tipo de válvula de cierre de seguridad diseñada para detener el flujo de fluidos en un proceso de manera automática o manual en caso de emergencia o cuando se necesita aislar una sección del sistema. Se instala por medio de juntas bridadas de 4" rating 2500#.

### Figura 7

*P&ID Válvula (SDV-30704) de 4"*



*Nota.* Adaptado de “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana” Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. s.f. 2020, P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1.

Como se muestra en la figura 7, se instaló la válvula de 4" (SDV-30704) en la línea de recirculación 4"-NG-30934-K2A1, se realiza el torque de las juntas bridadas de la válvula con un torquímetro de clic y Hytor brazo 15 tipo de empaque para la brida R8, diámetro del perno 1 1/2" grado B7, tamaño de la tuerca 2 3/8" se le aplica un torque de 1100 lb/ft, se realiza registro del torque en el formato FOR- EDO-041 REPORTE DE TORQUE, CUMFCCFC74NG30934K2A1.2-3.0 (ISO CONTROL DE PRESION) (UB-01) (véase Apéndice 3), se realizó el torque a nivel de piso para mayor facilidad de la maniobra de torque.

### **Figura 8**

*Toque de Válvula (SDV-30704)*



*Nota.* Elaboración propia.

### **Figura 9**

*Válvula (SDV-30704) instalada*



*Nota.* Elaboración propia.

Se presenta la válvula (SDV-30704) instalada y se aplicó torque en las dos juntas bridas se evidencia la aplicación del torque con stickers de color rojo sobre las bridas, previo a la instalación de la válvula se realizó prueba de apertura y cierra para asegurar el correcto funcionamiento y calibración de la válvula, para ello se hacen dos puntos de prueba a 0 y 24 volteos donde 0 volteos representa el cierra de la válvula y el 100% la apertura, se evidencia en el formato FOR-EDO-003 REPORTE No. 01 documento registro de calibración de instrumentos (véase Apéndice D), esta práctica se realiza en la base de la empresa GLOBAL TECH en presencia de la parte de calidad para corroborar el correcto funcionamiento de esta, (ver figura 10).

### **Figura 10**

*Prueba de Apertura y Cierre*

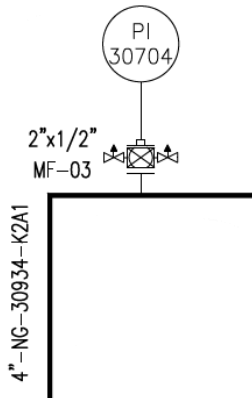


*Nota.* Elaboración propia.

### fase 3, Instalación de Manómetro Indicador de Presión (pi-30704)

**Figura 11**

*P&ID manómetro (PI-30704)*



*Nota.* Adaptado de “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana” Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. s.f. 2020, P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1.

Se realiza la instalación del indicador presión (PI-30704) en la línea de recirculación 4"-NG-30934-K2A1 de la marca Ashcroft, este manómetro tiene un rango de 0 – 3000 PSI, se instala por medio de junta bridada con un monoflange de características: (FLANGE // MONOFLANGE, SIZE: 2 IN X 1/2 IN CLASS: 1500, END: RING JOINT) seguido se realizó la instalación de manifold de corte y venteo, dicho elemento se instala entre monoflange y el manómetro con el fin de despresurizar cuando se requiera hacer mantenimiento al indicador de presión (Manómetro), con este se tendrá registro de la presión en campo de forma local asegurando un correcto registro de la presión, comparando este con el registro de presión del transmisor (PIT-30704).

## Figura 12

*Torque junta bridadas con monoflange*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó el torque del Monoflange por junta bridadada con torquímetro de clic ver (figura 12) se aplica una presión de (200 Lb/ft) a cada esparrago para el correcto seño y no presente fugas, para esta maniobra se implementa el torquímetro de clic serie (DQD21570) modelo (6014C) Clase Unión: BRIDADA 2" 1500# lo anterior se guarda registro en el formato FOR- EDO-041 NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN (UB-03) (véase Apéndice E).

## Figura 13

*(PI-30704) Instalado en Campo*



*Nota.* Elaboración propia.

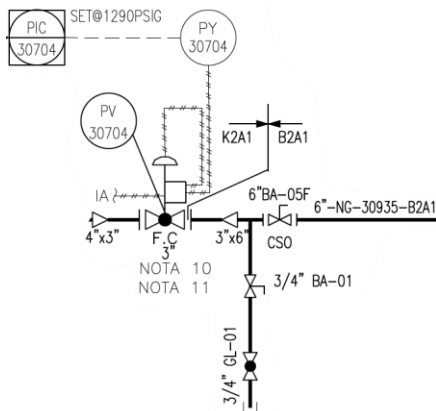
Como se observa en la figura 13, presenta instalado el manómetro (PI-30704) indicador de presión con sus elementos, manifold de ½”, Monoflange de 2” por junta bridada y se evidencia con sticker de color naranja la junta certificada.

Para el correcto funcionamiento del instrumento y su instalación en sitio, se realiza previamente la calibración del instrumento (PI-30704) en dos etapas ascendente y descendente, aplicando presión hasta 3000 PSI a la 100% y descendiendo hasta los 0 PSI, de esta actividad se guarda registro en el formato FOR-EDO-003 REPORTE No. 4 documento reporte de calibración de instrumentos (véase Apéndice F).

#### **FASE 4: Instalación de válvula de control (PV-30704).**

#### **Figura 14**

##### *P&ID Válvula (PV-30704)*



*Nota.* Adaptado de “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana” Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. s.f. 2020,

P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1

Para la regulación y el control de la presión se instala la válvula de control (PV-30704) en la línea de recirculación 4"-NG-30934-K2A1 con el fin de controlar la presión de la línea de succión de los compresores recíprocos, fabricada por: MASONEILAN, el actuador neumático se alimenta de 6 – 30 PSI, modelo de la válvula 88-41335, Acople a la línea de tubería por unión brida de 4" diámetro de esta 3".

### Figura 15

*Válvula de Control (PV-30704)*



*Nota.* Elaboración propia.

Para esta válvula las pruebas de funcionamiento y calibración se realizaron en sitio una vez instalada.

**Figura 16**

*Instalación de Válvula (PV-30704)*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 17**

*Torque de Válvula (PV-30704)*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realiza la instalación de la válvula identificada con tag (PV-30704) acople a la línea de recirculación 4"-NG-30934-K2A1 por junta de bridada como se muestra en las figuras 16 y 17, debido que la válvula tiene un diámetro de 3" se instala en la línea de tubería una reducción concéntrica de 4\*3 con una brida de 3" para el acople de la válvula, para esto se usa torquímetro de Clic se aplica una presión de 430 Lb/ft tipo de brida 2500 diámetro de los pernos 1 1/8" material de la brida grado B7 de lo anterior se guarda registro en el formato FOR- EDO-041 NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN (UB-04) (véase Apéndice G).

### **Figura 18**

*Calibración de Válvula (PV-30704) con el Proveedor*



*Nota.* Elaboración propia.

**Figura 19**

*Calibración de Válvula (PV-30704) por Global Tech*



*Nota.* Elaboración propia

Una vez instala la válvula de control (PV-30704) sobre la línea de recirculación 4"-NG-30934-K2A1 y debidamente aplicado el torque se procede a realizar la calibración de esta como se muestra en las figuras 18 y 19, junto con el proveedor se realiza la primera calibración de la válvula y seguidamente por parte nuestra se procede a realizar una segunda calibración con el equipo comunicador de procesos de la marca Emerson y corroborar la comunicación del lazo de control en el cuarto de control, para esto se mantiene comunicación por radio frecuencia con el operador de cuarto de control a quien se le informa el porcentaje al que se va abrir la válvula y comprobar tanto el cuarto de control como en físico que corresponda las mismas lecturas, para esta calibración se hace mediante el protocolo HART de señales de 4 – 20 mA, es decir con el comunicador de proceso se aplica 4 mA, la válvula debe tener un porcentaje de apertura de 0%, a continuación se describe los puntos de prueba para la calibración del equipo. Se deja registro de la

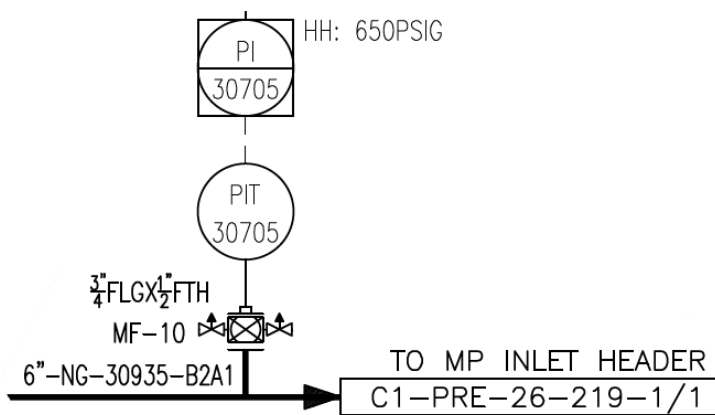
calibración de la válvula (PV-30704) en el formato FOR-EDO-003 REPORTE No. 05

(véase apéndice H)

**FASE 5: instalación de transmisor (PIT-30705).**

**Figura 20**

*P&ID Transmisor de presión (30704)*



*Nota.* Adaptado de “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana” Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. s.f. 2020, P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1.

Se realizó la instalación del transmisor de presión con indicador local (PIT-30704) en la línea de recirculación 6"-NG-30935-B2A1 para el registro de la presión aguas arriba de la válvula de control (PV-30704), este instrumento registra presión que sale de la válvula de control para ejercer control por medio de lazo asociado a la válvula (SDV-30704) con un setpoint de 650 PSIG al sobrepasar esta presión se cierra la válvula de Shut Down (SDV-30704).

**Figura 21***Instalación de Monoflage 3/4"*

*Nota.* Elaboración propia.

Para instalación del transmisor (PIT-30705) se instaló un monoflage de 3/4" como se muestra en la figura 21, su conexión es por junta bridada se aplica 75 Lb/ft a cada perno de 5/8" tamaño de la tuerca 1 1/16" se guardo registro de la maniobra de torque en el formato FOR- EDO-041 NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN (UB-04) (véase Apéndice I) continuo a la instalación del monoflage se instala el tubing de 3/4" por donde llevara la presión del gas al transmisor (PIT-30705).

**Figura 22***Transmisor Indicador de Presión (PIT-30705)*

*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó la instalación del transmisor de presión (30705), como se muestra la figura 22, sobre la línea de recirculación 6"-NG-30935-B2A1 se implementó monoflange  $\frac{3}{4}$ ", se instala tubing de  $\frac{3}{4}$ " y válvula de corte y venteo de  $\frac{3}{4}$ " para aislar la presión cuando se requiera hacer mantenimiento del transmisor como se evidencia en la ilustración 25.

### **Figura 23**

#### *Calibración Transmisor (30705)*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó la calibración del instrumento transmisor indicador de presión (PIT-30705), dicha calibración se realiza con el comunicador de procesos Emerson siguiendo el protocolo HART para calibrar el instrumento, se realizó en dos etapas igual que anterior transmisor (PIT-30705), la primera etapa Ascendente y la segunda Descendente como se muestra en la figura 23 de esta manera asegurar el correcto funcionamiento de la lectura y comunicación del instrumento, esta actividad se hace en comunicación con el operador en cuarto de control por medio de radio frecuencia y comparar las lecturas en campo con las lecturas en la pantalla del operador en cuarto de control.

## FASE 6: Instalación del Cableado de Control para la Válvulas y Transmisores

Se realizó la instalación del cableado de control de 1x2x14 +SH 300V cable estándar para toda la instrumentación en este proyecto, se instaló desde punto de conexión en cada instrumento y válvula hasta la subestación 14 en los tableros I94-SIS-1413 Y I94-SIS-1414 para las señales de control de la válvula SDV-30704 y el transmisor PIT-30705 y hasta el tablero I94-DCS-1409 para la válvula PV-30704 y el transmisor PIT-30704. En estos puntos se conectarán a bornera porta fusibles y seguidos a las tarjetas de cada PLC que transmitirá la señal a cuarto de control y por medio de la lógica de programación se efectuara la automatización según parámetro de presión establecidos que se registraran en cada transmisor y de forma automatizada actuara la válvula de control PV-30704 y la válvula de seguridad SDV-30704.

### Figura 24

*Instalación de Cableado de Control en Campo*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó en tendido del cableado 1x2x14 +SH 300V desde los instrumentos y válvulas por la tubería Conduit IMC y por bandeja porta cable hasta la subestación 14 como se muestra en la figura 24 y 25.

## Figura 25

### *Instalación de Cableado en la Subestación 14*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó la instalación del cableado de control en la subestación 14, proveniente desde campo por las bandejas porta cables, se realizó en tendido del cable dentro de los gabinetes.

## Figura 26

### *Gabinetes I95-SIS-1413, I95-SIS-1414, I95-DCS-1409*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizó la instalación del cableado 1x2x14 +SH 300V dentro los gabinetes hasta su punto de conexión en cada bornera porta fusible y tarjeta del PLC.

**Figura 27***Calibración PIT-30704*

*Nota.* Elaboración propia.

El PIT-30704, calibrado en rango de 0–1200 PSI, registró con precisión las señales analógicas de 4-20 mA, se calibra por medio de protocolo HART con el calibrador de procesos Emerson, se implementa el comunicador de procesos Emerson para la combinación de señales analógicas de 4-20mA, las pruebas arrojaron resultados satisfactorios como se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1***Resultados Pruebas (PIT-30704)*

	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente				
		Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%
RESULTADOS PRUEBAS	Señal aplicada	4 mA	8 Ma	12 mA	16 mA	20 mA	20 mA	16 mA	12 mA	8 Ma	4 mA
	Señal de salida	301 PSI	601 PSI	900 PSI	1200 PSI	1200 PSI	900 PSI	601 PSI	301 PSI	301 PSI	PSI

*Nota.* resultados de calibración, prueba ascendente y descendente, resultados satisfactorios.

Mediante el formato (FOR-EDO-003) REPORTE No 02 se implementa el registro de calibración del instrumento, quedando documentado en dicho formato, (véase Apéndice B)

### Figura 28

*Calibración PIT-30705*



*Nota.* Elaboración propia.

PIT-30705: Este equipo arrojó resultados positivos durante la calibración del instrumento, se calibró con rango de (0 – 3000 PSI), se calibra por medio de protocolo HART con el calibrador de procesos Emerson, este equipo no es propiedad de la empresa se alquiló por lo tanto no cuenta con certificado de calidad, se implementó el comunicador de procesos Emerson para la combinación de señales análogas de 4-20mA, las pruebas arrojaron la siguiente tabla 2:

**Tabla 2***Resultados Pruebas (PIT-30705)*

	Tipo de señal aplicada	Ascendente						Descendente			
		0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
RESULTADOS	Puntos de prueba	4	8	12	16	20	20	16	12	8	4
S	Señal aplicada	mA	Ma	mA	mA	mA	mA	mA	mA	Ma	mA
	Señal de salida	0	751	1501	2251	3000	3000	2251	1501	751	0
		PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI

*Nota.* resultados de calibración, prueba ascendente y descendente, resultados satisfactorios.

Mediante el formato (FOR-EDO-003) REPORTE No. 03 se implementa el registro de calibración del instrumento, quedando documentado en dicho formato, (véase Apéndice M).

**Figura 29**

*manómetro Indicador de Presión Local PI-30704*



*Nota.* Elaboración propia.

PI-30704: los resultados de las pruebas para este instrumento fueron satisfactorias, el equipo se le realizaron pruebas una vez instalado en la línea, rango del instrumento de 0 – 3000 PSI, las pruebas arrojaron la siguiente tabla 3.

**Tabla 3**

*Resultados Pruebas (PI-30704)*

RESULTADOS	Tipo de señal aplicada	Ascendente						Descendente			
		0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
S	Puntos de prueba	0	750	1500	2250	3000	3000	2250	1500	750	0
	Señal aplicada	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI
	Señal de salida	0	750	1500	2250	3000	3000	2250	1500	750	0
		PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI	PSI

*Nota.* Resultados de calibración, prueba ascendente y descendente, resultados satisfactorios.

Mediante el formato (FOR-EDO-003) REPORTE No. 04, se implementa el registro de calibración del instrumento, quedando documentado en dicho formato, (véase Apéndice F)

**Figura 30**

*Válvula de Seguridad SDV-30704*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizaron las pruebas de calibración de la válvula SDV-30704, dando resultados satisfactorios en los dos puntos de calibración para esta válvula, de 0 – 100% con una señal de 0 – 20 Volteos, con los resultados se obtuvo la siguiente tabla 4:

**Tabla 4**

*Resultados Pruebas (SDV-30704)*

RESULTADOS PRUEBAS	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente				
		0 %	25 %	50 %	75 %	100 %	100 %	75 %	50 %	25 %	0 %
Puntos de prueba	Señal aplicada	0 V	N/ A	N/ A	N/ A	24 V	24 V	N/ A	N/ A	N/ A	0 V
	Señal de salida	0 %	N/ A	N/ A	N/ A	100 %	100 %	N/ A	N/ A	N/ A	0 %

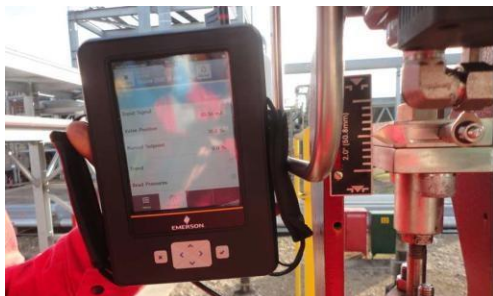
*Nota.* Resultados de calibración, prueba ascendente y descendente, resultados satisfactorios.

La válvula de seguridad PV-30704 Se le realizo apertura y cierre registrando los siguientes tipos. Tiempo de apertura de la válvula: 3s, tiempo de cierre de la válvula: 6s.

Mediante el formato (FOR-EDO-003) REPORTE No. 01, se implementa el registro de calibración de la válvula, quedando documentado en dicho formato, (véase Apéndice D)

**Figura 31**

*Válvula de Control PV-30704*



*Nota.* Elaboración propia.

PV-30704; Se realizaron las pruebas de calibración de la válvula PV-30704, dando resultados satisfactorios en los puntos de calibración para esta válvula, de 0 – 100% con una señal de 4 – 20 mA, con los resultados se obtuvo la siguiente tabla 5:

**Tabla 5**

*Resultados Pruebas (PV-30704)*

RESULTADOS PRUEBAS	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente				
		0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
	Puntos de prueba	4	8	12	16	24	24	16	12	8	4
	Señal aplicada	mA	mA	mA	mA	V	V	mA	mA	mA	mA
	Señal de salida	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
			%			%	%			%	

*Nota.* resultados de calibración, prueba ascendente y descendente, resultados satisfactorios.

La válvula de seguridad PV-30704 Se le realizo apertura y cierre registrando los siguientes tipos. Mediante el formato (FOR-EDO-003) REPORTE No. 05, se implementa el registro de calibración de la válvula, quedando documentado en dicho formato, (véase Apéndice H).

**Figura 32**

*Pruebas de Aislamiento del Cableado*



*Nota.* Elaboración propia.

Se realizaron las pruebas de aislamiento del cableado instalado de las valvas y los instrumentos, se aplica 220V de tensión para medir la resistencia de aislamiento y detectar posibles fallos, las pruebas fueron satisfactorias, se usa Megóhmetro FLUKER modelo 1507, este equipo cuenta con certificado de calidad No. CMK-ELEM-23662 (véase Apéndice N) Los resultados se muestran en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Resultado Pruebas de Aislamiento*

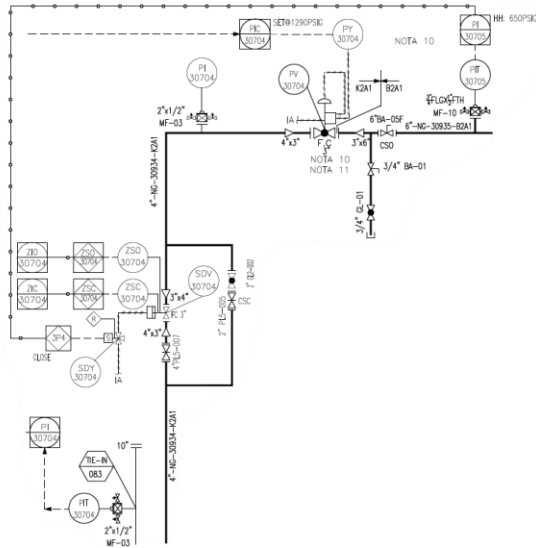
<b>REGISTRO PRUEBAS DE AISLAMIENTO Y CONTINUIDAD DE CABLES</b>									
<b>CONDUCTOR</b>		<b>AISLAMIENTO (<math>\Omega</math>)</b>						<b>PRUEBA DE CONTINUIDAD</b>	<b>FECHA</b>
<b>TAG</b>	<b>DESCRIPCION DEL CALIBRE</b>	<b>L1- L2</b>	<b>L1- L3</b>	<b>L2- L3</b>	<b>L1 -T</b>	<b>L2 -T</b>	<b>L3 -T</b>		
<b>SDY-30704-BI01</b>	<b>1X2X14 AWG + SH 300V</b>	<b>&gt;220</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>&gt;20</b>	<b>&gt;20</b>	<b>N/A</b>	<b>OK</b>	<b>24/04/2024</b>
<b>ZSC-30704-BI01</b>	<b>1X2X14 AWG + SH 300V</b>	<b>&gt;220</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>&gt;20</b>	<b>&gt;20</b>	<b>N/A</b>	<b>OK</b>	<b>24/04/2024</b>
<b>ZSO-30704-BI01</b>	<b>1X2X14 AWG + SH 300V</b>	<b>&gt;220</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>&gt;20</b>	<b>&gt;20</b>	<b>N/A</b>	<b>OK</b>	<b>24/04/2024</b>
<b>PY-30704-AI01</b>	<b>1X2X14 AWG + SH 300V</b>	<b>&gt;220</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>&gt;20</b>	<b>&gt;20</b>	<b>N/A</b>	<b>OK</b>	<b>24/04/2024</b>
<b>PIT-30704-AI01</b>	<b>1X2X14 AWG + SH 300V</b>	<b>&gt;220</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>&gt;20</b>	<b>&gt;20</b>	<b>N/A</b>	<b>OK</b>	<b>24/04/2024</b>
<b>PIT-30705-AI01</b>	<b>1X2X14 AWG + SH 300V</b>	<b>&gt;220</b>	<b>N/A</b>	<b>N/A</b>	<b>&gt;20</b>	<b>&gt;20</b>	<b>N/A</b>	<b>OK</b>	<b>24/04/2024</b>

*Nota.* Los resultados de las pruebas de aislamiento y continuidad fueron satisfactorios.

## Análisis de Resultados

**Figura 33**

*P&ID de OSIG*



*Nota.* adaptado de “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana” Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. s.f. 22020, P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1.

### Fase 1: Transmisor Indicador de Presión (pit-30704)

El transmisor indicador de presión (PIT) es un dispositivo diseñado para medir y controlar la presión de fluidos en diversos sistemas. Su función principal es convertir la presión aplicada por un fluido en una señal eléctrica proporcional, que puede ser utilizada para monitorear, controlar o registrar la presión en un sistema, se instaló en la línea de succión de 10” con el fin de monitoria la presión y ejercer control con la válvula (PV-30704) y evitar que sobrepase 1290 PSI, cuando la presión de succión en los compresores de OSIG supere 1290 PSIG, el trasmisor de presión PIT-30704 enviara una señal de apertura a la válvula PV-30704, esto impedirá que se llegue a la presión de apagado de los compresores recíprocos, otorgando mayor confiabilidad a la operación. Este equipo

consta de dos componentes claves: el sensor y el acondicionador de señal. El sensor detecta la presión y la convierte en una señal mecánica, mientras que el acondicionador de señal transforma esta señal mecánica en una señal eléctrica, que puede ser analógica (como corriente o voltaje) o digital para su procesamiento por sistemas de control como PLC, el instrumento cuenta con un rango de 0 – 10000PSI pero se calibro con un rango de 0 – 1200 PSI, fabricante ROSEMOUNT, modelo del equipo: 3051S2TG5A2A11A1AB4E5N5Q4T1 con número de serie. 22SHPE0170087.

## **Fase 2: Válvula (Sdv-30704) Shut Down Valve**

La válvula Shut Down (SDV), o válvula de cierre, está diseñada para detener el flujo de fluidos en situaciones de emergencia o cuando se requiere interrumpir un proceso. Su función principal es garantizar la seguridad operativa al permitir el aislamiento de secciones de un sistema, minimizando riesgos asociados a fugas o fallos, la válvula tiene un diámetro de 3” y se instaló sobre la línea de recirculación de 4” su acción de cierre está determinada por el transmisor (PIT-30705) aguas arriba de la válvula de control (PV-30704) como se muestra en la ilustración 41, este elemento de acción de apertura y cierre consta de una solenoide que actúa sobre una válvula electroneumática, la válvula SDV es de accionamiento por fallo es decir que al fáltale energía a la solenoide se cierra la electroválvula impidiendo el paso de presión neumática ocasionando el cierre amiente de la SDV, tiempo de cierre de la válvula 6s, tiempo de apertura 3s, con un regulador de aire a 1100 PSI, en caso que la presión supere los 650 PSIG, en el transmisor (PIT-30705) enviara una señal de cierre a través del interlock 3P4, para evitar que se presurice la línea de succión de los compresores de media presión. Esta válvula tiene una capacidad de 81 MMSCFD.

**Fase 3, Manómetro Indicador de Presión (PI-30704)**

Este dispositivo es utilizado para medir y mostrar la presión de fluidos, ya sean líquidos o gases, en un sistema cerrado. Su función principal es proporcionar una lectura visual de la presión en campo, rango del instrumento de 0 – 3000 PSI, como función única de este instrumento es monitorear la presión en la línea de de recirculación 4”-NG-30934-K2A1.

**Fase 4: Válvula de Control (PV-30704)**

dispositivo en la automatización de procesos industriales, diseñado para regular el flujo de fluidos (líquidos o gases) en un sistema. Su función principal es ajustar la cantidad de fluido que pasa a través de ella, lo que permite mantener variables del proceso, como presión, temperatura y nivel, dentro de rangos deseados, para el proyecto se implementó una válvula 3” para el control de la presión en la línea del cabezal de succión de los compresores OSIG, de acción neumática cuenta con regulador de presión neumática para el actuador de 40PSI, cuenta con el conversor de señal neumática a eléctrica PY-30704, su acción de apertura y cierre proporcional está determinada por el transmisor (PIT-30704) está programada con un SET a 1290, de manera que la presión no supere esa cifra. Esto se logra mediante el actuador que ajustan la apertura de la válvula en respuesta a señales de control.

**Fase 5: Transmisor Indicador de Presión (pit-30705)**

El transmisor indicador de presión (PIT) es un dispositivo diseñado para medir y controlar la presión de fluidos en diversos sistemas. Su función principal es convertir la presión aplicada por un fluido en una señal eléctrica proporcional, que puede ser utilizada para monitorear, controlar o registrar la presión en un sistema, se instaló en la línea de

recirculación 6"-NG-30935-B2A1 con el fin de monitoria la presión y determinar la señal de control para la válvula (SDV-30704) y evitar que sobrepase 650 PSIG, el trasmisor de presión PIT-30705 enviara una señal de cierre a la válvula SDV-30704 en caso que super los 650 PSIG, evitando que se presurice el cabezal de succión de los compresores de mediana presión, otorgando mayor confiabilidad a la operación. Este equipo consta de dos componentes claves: el sensor y el acondicionador de señal. El sensor detecta la presión y la convierte en una señal mecánica, mientras que el acondicionador de señal transforma esta señal mecánica en una señal eléctrica, que puede ser analógica (como corriente o voltaje) o digital para su procesamiento por sistemas de control como PLC, el instrumento cuenta con un rango de 0 – 10000 PSI pero se calibro con un rango de 0 – 3000 PSI, fabricante ROSEMOUNT, modelo del equipo: 3051S2TG5A2A11A1AB4E5N5Q4T1 con número de serie. 23SHPE0211265.

#### **Fase 6: Cableado de Control para la Válvulas y Transmisores**

cableado de control de 1x2x14 +SH 300V, cable que consta de dos conductores y shield o tierra para protección contra interferencias electromagnéticas y aseguran la transmisión sin ruido en las señales, cable de calibre 14 soporto una tensión nominal de máximo 300V lo cual es ideal para aplicaciones de baja tensión. Está tendido desde el instrumento en campo hasta la subestación 14. En el CPF CUSIANA, trasmite la señal de los instrumento y válvulas hasta el PLC.

## Conclusiones

La implementación de instrumentos de medición y control, como transmisores de presión (PIT-30704) y válvulas de seguridad (SDV-30704), fueron fundamentales para mejorar el monitoreo y control del sistema de inyección de gas. La instalación y calibración precisa de estos dispositivos, siguiendo normas técnicas como ASME PCC-1 para el torque de bridas, permiten un registro más fiable de las variables del proceso y una respuesta más efectiva ante situaciones de emergencia.

El protocolo HART facilito la calibración eficiente y precisa de los instrumentos. La utilización del protocolo HART permite realizar ajustes y verificaciones en los transmisores de presión de manera remota, lo que reduce el tiempo de inactividad y asegura la precisión de las mediciones en condiciones operativas exigentes.

La integración de los instrumentos en un sistema de control automatizado, junto con pruebas exhaustivas, contribuyo a la mejora de la eficiencia operativa y la seguridad del proceso de inyección de gas. El proyecto destaco la importancia de conectar los instrumentos al cuarto de control mediante cableado adecuado y realizar pruebas de funcionamiento, como la verificación de la apertura y cierre de las válvulas (SDV-30704), para asegurar la correcta interacción entre los componentes del sistema y la respuesta adecuada ante cambios en las condiciones operativas.

## Bibliográfica

- Acuña-A., JE (2016). Automatización Industrial. Revista Tecnología En Marcha , 10 (1), pág. 27-30. Recuperado de [https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/2592](https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2592)
- Ashcroft Inc. (2025, junio 20). 1279 Duragauge® pressure gauge: Data sheet (Rev. R). Ashcroft Inc. <https://www.ashcroft.com/wp-content/uploads/2020/09/datasheet-1279-duragauge-pressure-gauge.pdf>
- Baker Hughes Company. (2020). Manual de operación y mantenimiento: Válvula Masoneilan modelo 88-41335 (Rev. A). Baker Hughes Company. <https://dam.bakerhughes.com/m/248e5e9fe00aedd/original/Masoneilan-87-88-Spring-Diaphragm-Actuator-Manual-Spanish.pdf>
- Chen, JQ (2012). Válvula accionada por presión asistida por electroimán. <https://patents.google.com/patent/US20150184771A1/en>
- Ecopetrol, W. P. (2023). Filosofía de Operaciones, INGENIERÍA DE DETALLE PARA OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE INYECCIÓN DE GAS DEL CPF DE CUSIANA. Bogotá: EcoNomics.
- Emerson. (2024, julio). Rosemount™ 3051 pressure transmitter with 4-20 mA HART® protocol: Reference manual (Rev. BG, no. 00809-0100-4007). Emerson. [www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3051-pressure-transmitter-en-89452.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](http://www.emerson.com/documents/automation/manual-rosemount-3051-pressure-transmitter-en-89452.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Emerson/Bettis. (2002, mayo). Service instructions: Bettis Spring-Return Series actuators—Models HD722-SR, HD732-SR (Service Instr., No. 074888E, Rev. B).

Emerson. [https://manualzz.com/doc/11971813/bettis-spring-return-series-hd722-sr--hd732-sr-pneumatic-...?utm\\_source=chatgpt.com&p=22](https://manualzz.com/doc/11971813/bettis-spring-return-series-hd722-sr--hd732-sr-pneumatic-...?utm_source=chatgpt.com&p=22)

Fajardo, J. (dib.), León, C. (diseñadora), & Ecopetrol S.A. (propietario). (2020). “ingeniería de detalle para optimización del sistema de inyección de gas del CPF de Cusiana. Ecopetrol S.A. P&ID CUM/F-CCF-C7-PRE-30-001-1/1.

Gao, H., Zhang, Z., Xiao-ming, M. y Liu, C. (2024). Análisis de la precisión y fiabilidad de las mediciones de instrumentación inteligente en el control de procesos. *Matemáticas Aplicadas y Ciencias No Lineales*, 9 (1).  
<https://doi.org/10.2478/amns-2024-1557>

Kennett, D., & Latwesen, AL (2010). Método y dispositivo para el control de una válvula reguladora mediante un lazo de control, así como para la detección de fallos en dicho lazo.


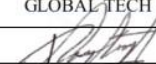

Tameson. (sf). Reguladores de presión y válvulas de seguridad en la industria .  
Recuperado de <https://tameson.es/pages/regulador-de-presion-valvula-de-seguridad>

## Apéndices

## Apéndice A





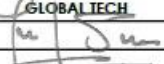


FOR- EDO-041 (CUMFCCFC72NGTRIM1K2A1.1-1.0 (ISO TRIM1 OSIG)( UB-01)

 <b>GLOBAL TECH</b> SERVICIOS & SOLUCIONES	<b>REPORTE DE TORQUEO</b>	FOR- EDO-041
		REV.4
		09/09/2019

<b>Proyecto:</b> MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG"									
<b>Isométrico:</b> CUMFCCFC72NGTRIM1K2A1.1-1.0 (ISO TRIM1 OSIG)				<b>Locación:</b> CPF CUSIANA / COMPRESORES OSIG					
<b>Equipo:</b> TORQUIMETRO DE CLIK									
<b>Serie:</b> DQD21570				<b>Modelo:</b> 6014C					
<b>Clase Unión:</b> BRIDADA 2" 1500#									
ÍTEM	CHEQUEOS						SI	NO	N/A
1	La persona que realizó el torqueo se encuentra certificada?						X		
2	Las uniones son de alto riesgo?							X	
3	Los Pernos corresponden al tipo de Unión?						X		
4	El Perno cumple con el diámetro requerido para su respectivo uso?						X		
5	Verificación de torque requerido al perno?						X		
6	Se le debe instalar arandelas o tuercas de seguridad?								X
DESCRIPCION DE UNION									
NUMERO IDENTIFICACION	DIAMETRO	TIPO DE LUBRICANTE	TIPO DE EMPAQUE	DIAMETRO DEL PERNO	GRADO	TAMAÑO TUERCA	TORQUE APLICADO (Lb/ft)		
UB-01	2"	CHESTERTON 725	R14	7/8"	B7	1 7/16"	200		
<del> </del>									
<del> </del>									
<del> </del>									
<del> </del>									
<del> </del>									
<del> </del>									
<del> </del>									
<del> </del>									
<b>OBSERVACIONES:</b>									
DATOS	EJECUTADO POR		VERIFICADO POR		APROBADO POR EL CLIENTE				
<b>COMPAÑIA</b>	GLOBAL TECH		GLOBAL TECH		APPLUS				
<b>FIRMA</b>									
<b>NOMBRE</b>	FABIÁN HOYOS		RUBÉN ROMERO		FREDDY SALAZAR				
<b>FECHA</b>	12/05/2024		12/05/2024		13/05/2024				

## Apéndice B



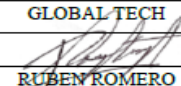
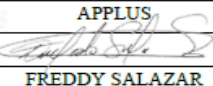
## FOR-EDO-003 REPORTE No. 02

	<b>REGISTRO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN</b>		FOR-EDO-003																																																																																																																																																				
			REV 1																																																																																																																																																				
			9/09/2019																																																																																																																																																				
PROYECTO: MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG".						REPORTE No. 02		FECHA 17-may-24		PÁGINA 1 DE 1																																																																																																																																													
CONTRATISTA: GLOBAL TECH			ÁREA: COMPRESORES OSIG				LOCACIÓN: CPF CUSIANA																																																																																																																																																
SERVICIO: GAS			P & ID No: CUMFCCFC7PRE30001.1-1				REV: 013																																																																																																																																																
TAG. No: PIT-30704			DATA SHEET No: ECPULL18019GDPID020INSHD037.0																																																																																																																																																				
FABRICANTE: ROSEMOUNT						CLASIFICACIÓN DE ÁREAS: CL 1 DV2																																																																																																																																																	
MODELO No: 3051S2TG5A2A11A1AB4E5N5Q4T1						RANGO: INSTRUMENTO (0-10000)PSI CALIBRACIÓN (0-1200)PSI																																																																																																																																																	
No. SERIE: 22SHPE0170087						CERTIFICACIÓN DEL FABRICANTE: ENTREGADO POR ECOPETROL																																																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th colspan="10">DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA</th> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">INSPECCIÓN VISUAL</td> <td colspan="10">Instrumento de acuerdo a data sheet</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Número de referencia del equipó de calibración:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ACCESORIOS</td> <td colspan="10">Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Válvulas solenoides operando correctamente</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">RESULTADO PRUEBA</td> <td colspan="1">Tipo de señal aplicada</td> <td colspan="5">Ascendente</td> <td colspan="5">Descendente</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="1">Puntos de prueba</td> <td>0%</td> <td>25%</td> <td>50%</td> <td>75%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>75%</td> <td>50%</td> <td>25%</td> <td>0%</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="1">Señal aplicada</td> <td>4 mA</td> <td>8 mA</td> <td>12 mA</td> <td>16 mA</td> <td>20 mA</td> <td>20mA</td> <td>16mA</td> <td>12mA</td> <td>8mA</td> <td>4mA</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="1">Señal de salida</td> <td>0PSI</td> <td>301PSI</td> <td>601PSI</td> <td>900PSI</td> <td>1200PSI</td> <td>1200PSI</td> <td>899PSI</td> <td>599PSI</td> <td>299PSI</td> <td>0PSI</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>												ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA										SI	NO	INSPECCIÓN VISUAL	Instrumento de acuerdo a data sheet										X		Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta										X		Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet										X		Número de referencia del equipó de calibración:												ACCESORIOS	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente											X	Válvulas solenoides operando correctamente											X	RESULTADO PRUEBA	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente							Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%			Señal aplicada	4 mA	8 mA	12 mA	16 mA	20 mA	20mA	16mA	12mA	8mA	4mA			Señal de salida	0PSI	301PSI	601PSI	900PSI	1200PSI	1200PSI	899PSI	599PSI	299PSI	0PSI		
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA										SI	NO																																																																																																																																											
INSPECCIÓN VISUAL	Instrumento de acuerdo a data sheet										X																																																																																																																																												
	Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta										X																																																																																																																																												
	Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet										X																																																																																																																																												
	Número de referencia del equipó de calibración:																																																																																																																																																						
ACCESORIOS	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente											X																																																																																																																																											
	Válvulas solenoides operando correctamente											X																																																																																																																																											
RESULTADO PRUEBA	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente																																																																																																																																																
	Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%																																																																																																																																												
	Señal aplicada	4 mA	8 mA	12 mA	16 mA	20 mA	20mA	16mA	12mA	8mA	4mA																																																																																																																																												
	Señal de salida	0PSI	301PSI	601PSI	900PSI	1200PSI	1200PSI	899PSI	599PSI	299PSI	0PSI																																																																																																																																												
COMENTARIOS: Pruebas satisfactorias																																																																																																																																																							
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>																																																																																																																																																							
																																																																																																																																																							
EJECUTO GLOBAL TECH			REVISO GLOBAL TECH			APROBO GLOBAL TECH																																																																																																																																																	
FIRMA 			FIRMA 			FIRMA 																																																																																																																																																	
NOMBRE Martin Silva.			NOMBRE Rubén Romero			NOMBRE Andres Fonseca.																																																																																																																																																	
FECHA 17-may-24			FECHA 17-may-24			FECHA 17-may-24																																																																																																																																																	

## Apéndice C





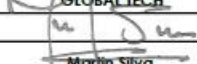
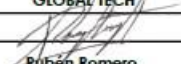

For- Edo-041 Reporte de Torque, Cumfccfc74ng30934k2a1.2-3.0 (Iso Control De Presion)

(Ub-01)

	<b>REPORTE DE TORQUEO</b>		FOR- EDO-041				
			REV.4				
			09/09/2019				
<b>Proyecto:</b> MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG"							
<b>Isométrico:</b> CUMFCCFC74NG30934K2A1.2-3.0 (ISO CONTROL DE PRESION)				<b>Locación:</b> CPF CUSIANA / COMPRESORES OSIG			
<b>Equipo:</b> TORQUIMETRO DE CLIK Y HYTOR BRAZO 15							
<b>Serie:</b> 1304-E0016 / DQD21570 / DTA02952				<b>Modelo:</b> S/M / 6014C / 6020AB			
<b>Clase Unión:</b> BRIDADA							
ÍTEM	CHEQUEOS			SI	NO	N/A	
1	La persona que realizó el torqueo se encuentra certificada?			X			
2	Las uniones son de alto riesgo?				X		
3	Los Pernos corresponden al tipo de Unión?			X			
4	El Perno cumple con el diámetro requerido para su respectivo uso?			X			
5	Verificación de torqueo requerido al perno?			X			
6	Se le debe instalar arandelas o tuercas de seguridad?					X	
DESCRIPCION DE UNION							
NUMERO IDENTIFICACION	DIAMETRO	TIPO DE LUBRICANTE	TIPO DE EMPAQUE	DIAMETRO DEL PERNO	GRADO	TAMAÑO TUERCA	TORQUE APLICADO (Lb/ft)
UB-01	4" 2500#	CHESTERTON 725	R38	1 ½"	B7	2 3/8"	1100
UB-02	2" 2500#	CHESTERTON 725	R26	1"	B7	1 5/8"	290
UB-03	2" 1500#	CHESTERTON 725	R14	7/8"	B7	1 7/16"	200
UB-04	3" 2500#	CHESTERTON 725	R32	1 1/8"	B7	1 13/16"	430
/							
<b>OBSERVACIONES:</b>							
<b>DATOS</b>		<b>EJECUTADO POR</b>		<b>VERIFICADO POR</b>		<b>APROBADO POR EL CLIENTE</b>	
COMPAÑIA		GLOBAL TECH		GLOBAL TECH		APPLUS	
FIRMA							
NOMBRE		FABIAN HOYOS		RUBEN ROMERO		FREDDY SALAZAR	
FECHA		28/05/2024		28/05/2024		28/05/2024	



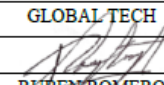
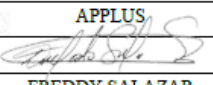
## Apéndice D

### For-Edo-003 Reporte No. 01

		<b>REGISTRO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN</b>				FOR-EDO-003					
						REV 1					
						9/09/2019					
PROYECTO: MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG".				REPORTE No. 01	FECHA 7-may-24	PÁGINA 1 DE 1					
CONTRATISTA: GLOBAL TECH		ÁREA: COMPRESORES OSIG			LOCACIÓN: CPF CUSIANA						
SERVICIO: GAS		P & ID No: CUMFCCFC7PRE30001.1-1			REV: 013						
TAG. No: SDV-30704		DATA SHEET No: ECPULL18019GDPID020INSHD037.0									
FABRICANTE: BETTIS			CLASIFICACIÓN DE ÁREAS: CLASE 1 / DIV. 2 Gr C,D.								
MODELO No: HD722-SR100CW			RANGO: CIRCUITO DE ENTREGA DEL ACTUADOR: NOMINAL OPER. 100PSI / MAX. OPER. 145PSI / MAX. TEST 219PSI								
No. SERIE: 942132A-12			CERTIFICACIÓN DEL FABRICANTE: ENTREGADO POR ECOPETROL								
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA					SI	NO				
INSPECCIÓN VISUAL	Instrumento de acuerdo a data sheet					X					
	Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta					X					
	Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet					X					
	Número de referencia del equipo de calibración:										
ACCESORIOS	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente						X				
	Válvulas solenoides operando correctamente					X					
RESULTADO PRUEBA	Tipo de señal aplicada	Ascendente				Descendente					
	Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%
	Señal aplicada	0V	N/A	N/A	N/A	24V	24V	N/A	N/A	N/A	0V
	Señal de salida	0%	N/A	N/A	N/A	100%	100%	N/A	N/A	N/A	0%
COMENTARIOS: Válvula de seguridad, se realiza apertura y cierre registrando los siguientes tiempos. Tiempo de apertura de la válvula: 3s Tiempo de cierre de la válvula: 6s											
REGISTRO FOTOGRÁFICO											
											
COMPañÍA	EJECUTO		REVIso			APROBO					
FIRMA	GLOBAL TECH		GLOBAL TECH			GLOBAL TECH					
NOMBRE	 Martin Silva.		 Ruben Romero.			 Andres Fonseca.					
FECHA	7-may-24		7-may-24			7-may-24					



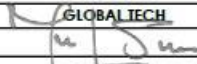


## Apéndice E

For- Edo-041 Número de Identificación (Ub-03)

	<b>REPORTE DE TORQUEO</b>		FOR- EDO-041						
			REV.4						
			09/09/2019						
<b>Proyecto:</b> MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG"									
<b>Isométrico:</b> CUMFCCFC74NG30934K2A1.2-3.0 (ISO CONTROL DE PRESION)					<b>Locación:</b> CPF CUSIANA / COMPRESORES OSIG				
<b>Equipo:</b> TORQUIMETRO DE CLIK Y HYTOR BRAZO 15									
<b>Serie:</b> 1304-E0016 / DQD21570 / DTA02952				<b>Modelo:</b> S/M / 6014C / 6020AB					
<b>Clase Unión:</b> BRIDADA									
ÍTEM	CHEQUEOS						SI	NO	N/A
1	La persona que realizó el torqueo se encuentra certificada?						X		
2	Las uniones son de alto riesgo?							X	
3	Los Pernos corresponden al tipo de Unión?						X		
4	El Perno cumple con el diámetro requerido para su respectivo uso?						X		
5	Verificación de torque requerido al perno?						X		
6	Se le debe instalar arandelas o tuercas de seguridad?								X
DESCRIPCION DE UNION									
NUMERO IDENTIFICACION	DIAMETRO	TIPO DE LUBRICANTE	TIPO DE EMPAQUE	DIAMETRO DEL PERNO	GRADO	TAMAÑO TUERCA	TORQUE APLICADO (Lb/ft)		
UB-01	4" 2500#	CHESTERTON 725	R38	1 ½"	B7	2 3/8"	1100		
UB-02	2" 2500#	CHESTERTON 725	R26	1"	B7	1 5/8"	290		
UB-03	2" 1500#	CHESTERTON 725	R14	7/8"	B7	1 7/16"	200		
UB-04	3" 2500#	CHESTERTON 725	R32	1 1/8"	B7	1 13/16"	430		
/									
OBSERVACIONES:									
DATOS	EJECUTADO POR		VERIFICADO POR		APROBADO POR EL CLIENTE				
COMPañÍA	GLOBAL TECH		GLOBAL TECH		APPLUS				
FIRMA									
NOMBRE	FABIAN HOYOS		RUBEN ROMERO		FREDDY SALAZAR				
FECHA	28/05/2024		28/05/2024		28/05/2024				



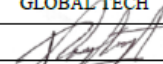
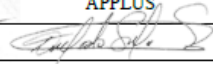
## Apéndice F

For-Edo-003 Reporte No. 4.

		<b>REGISTRO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN</b>				FOR-EDO-003																																																																										
						REV 1																																																																										
						9/09/2019																																																																										
PROYECTO: MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESION EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG".					REPORTE No. 04		FECHA 17-may-24		PÁGINA 1 DE 1																																																																							
CONTRATISTA: GLOBAL TECH			ÁREA: COMPRESORES OSIG			LOCACIÓN: CPF CUSIANA																																																																										
SERVICIO: GAS			P & ID No: CUMFCCFC7PRE30001.1-1			REV: 013																																																																										
TAG. No: PI-30704			DATA SHEET No: ECPULL18019GDPID020INSHD037.0																																																																													
FABRICANTE: ASHCROFT				CLASIFICACIÓN DE ÁREAS: NO																																																																												
MODELO No: 1279				RANGO: (0-3000)PSI																																																																												
No. SERIE: NO INDICA				CERTIFICACIÓN DEL FABRICANTE: ENTREGADO POR ECOPETROL																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">ITEM</th> <th style="width: 60%;">DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA</th> <th style="width: 10%;">SI</th> <th style="width: 10%;">NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>INSPECCIÓN VISUAL</b></td> <td>Instrumento de acuerdo a data sheet</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet</td> <td style="text-align: center;">X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Número de referencia del equipó de calibración:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>ACCESORIOS</b></td> <td>Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Válvulas solenoides operando correctamente</td> <td></td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center; vertical-align: middle;"><b>RESULTADO PRUEBA</b></td> <td style="text-align: center;">Tipo de señal aplicada</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">Ascendente</td> <td colspan="5" style="text-align: center;">Descendente</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Puntos de prueba</td> <td style="text-align: center;">0%</td> <td style="text-align: center;">25%</td> <td style="text-align: center;">50%</td> <td style="text-align: center;">75%</td> <td style="text-align: center;">100%</td> <td style="text-align: center;">100%</td> <td style="text-align: center;">75%</td> <td style="text-align: center;">50%</td> <td style="text-align: center;">25%</td> <td style="text-align: center;">0%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Señal aplicada</td> <td style="text-align: center;">0PSI</td> <td style="text-align: center;">750PSI</td> <td style="text-align: center;">1500PSI</td> <td style="text-align: center;">2250PSI</td> <td style="text-align: center;">3000PSI</td> <td style="text-align: center;">3000PSI</td> <td style="text-align: center;">2250PSI</td> <td style="text-align: center;">1500PSI</td> <td style="text-align: center;">750PSI</td> <td style="text-align: center;">0PSI</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Señal de salida</td> <td style="text-align: center;">0PSI</td> <td style="text-align: center;">750PSI</td> <td style="text-align: center;">1500PSI</td> <td style="text-align: center;">2250PSI</td> <td style="text-align: center;">3000PSI</td> <td style="text-align: center;">3000PSI</td> <td style="text-align: center;">2250PSI</td> <td style="text-align: center;">1500PSI</td> <td style="text-align: center;">750PSI</td> <td style="text-align: center;">0PSI</td> </tr> </tbody> </table>												ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	SI	NO	<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>	Instrumento de acuerdo a data sheet	X		Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta	X		Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet	X		Número de referencia del equipó de calibración:			<b>ACCESORIOS</b>	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente		X	Válvulas solenoides operando correctamente		X	<b>RESULTADO PRUEBA</b>	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente					Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%	Señal aplicada	0PSI	750PSI	1500PSI	2250PSI	3000PSI	3000PSI	2250PSI	1500PSI	750PSI	0PSI	Señal de salida	0PSI	750PSI	1500PSI	2250PSI	3000PSI	3000PSI	2250PSI	1500PSI	750PSI	0PSI
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA	SI	NO																																																																													
<b>INSPECCIÓN VISUAL</b>	Instrumento de acuerdo a data sheet	X																																																																														
	Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta	X																																																																														
	Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet	X																																																																														
	Número de referencia del equipó de calibración:																																																																															
<b>ACCESORIOS</b>	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente		X																																																																													
	Válvulas solenoides operando correctamente		X																																																																													
<b>RESULTADO PRUEBA</b>	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente																																																																									
	Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%																																																																					
	Señal aplicada	0PSI	750PSI	1500PSI	2250PSI	3000PSI	3000PSI	2250PSI	1500PSI	750PSI	0PSI																																																																					
	Señal de salida	0PSI	750PSI	1500PSI	2250PSI	3000PSI	3000PSI	2250PSI	1500PSI	750PSI	0PSI																																																																					
COMENTARIOS: Pruebas satisfactorias																																																																																
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>																																																																																
																																																																																
<b>EJECUTO</b>				<b>REVISO</b>				<b>APROBO</b>																																																																								
COMPañIA GLOBAL TECH				GLOBAL TECH				GLOBAL TECH																																																																								
FIRMA 																																																																																
NOMBRE Martin Silva.				Rubén Romero,				Andrés Fonseca.																																																																								
FECHA 17-may-24				17-may-24				17-may-24																																																																								



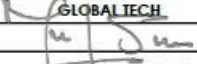


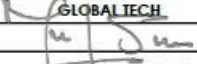


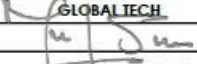


## Apéndice G

For- Edo-041 Número de Identificación (Ub-04).

	<b>REPORTE DE TORQUEO</b>		FOR- EDO-041						
			REV.4						
			09/09/2019						
<b>Proyecto:</b> MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG"									
<b>Isométrico:</b> CUMFCCFC74NG30934K2A1.2-3.0 (ISO CONTROL DE PRESION)					<b>Locación:</b> CPF CUSIANA / COMPRESORES OSIG				
<b>Equipo:</b> TORQUIMETRO DE CLIK Y HYTOR BRAZO 15									
<b>Serie:</b> 1304-E0016 / DQD21570 / DTA02952				<b>Modelo:</b> S/M / 6014C / 6020AB					
<b>Clase Unión:</b> BRIDADA									
<b>ÍTEM</b>	<b>CHEQUEOS</b>						<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>N/A</b>
1	La persona que realizó el torqueo se encuentra certificada?						X		
2	Las uniones son de alto riesgo?							X	
3	Los Pernos corresponden al tipo de Unión?						X		
4	El Perno cumple con el diámetro requerido para su respectivo uso?						X		
5	Verificación de torque requerido al perno?						X		
6	Se le debe instalar arandelas o tuercas de seguridad?								X
<b>DESCRIPCION DE UNION</b>									
<b>NUMERO IDENTIFICACION</b>	<b>DIAMETRO</b>	<b>TIPO DE LUBRICANTE</b>	<b>TIPO DE EMPAQUE</b>	<b>DIAMETRO DEL PERNO</b>	<b>GRADO</b>	<b>TAMAÑO TUERCA</b>	<b>TORQUE APLICADO (Lb/ft)</b>		
UB-01	4" 2500#	CHESTERTON 725	R38	1 ½"	B7	2 3/8"	1100		
UB-02	2" 2500#	CHESTERTON 725	R26	1"	B7	1 5/8"	290		
UB-03	2" 1500#	CHESTERTON 725	R14	7/8"	B7	1 7/16"	200		
UB-04	3" 2500#	CHESTERTON 725	R32	1 1/8"	B7	1 13/16"	430		
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>DATOS</b>		<b>EJECUTADO POR</b>		<b>VERIFICADO POR</b>		<b>APROBADO POR EL CLIENTE</b>			
COMPañIA		GLOBAL TECH		GLOBAL TECH		APPLUS			
FIRMA									
NOMBRE		FABIAN HOYOS		RUBEN ROMERO		FREDDY SALAZAR			
FECHA		28/05/2024		28/05/2024		28/05/2024			

## Apéndice H


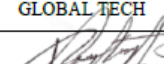
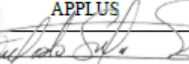
For-Edo-003 Reporte No. 05

		<b>REGISTRO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN</b>				FOR-EDO-003																																																																																																																																																	
						REV 1																																																																																																																																																	
						9/09/2019																																																																																																																																																	
PROYECTO: MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESION EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG".					REPORTE No. 05		FECHA 10-jun-24		PÁGINA 1 DE 1																																																																																																																																														
CONTRATISTA: GLOBAL TECH			ÁREA: COMPRESORES OSIG			LOCACIÓN: CPF CUSIANA																																																																																																																																																	
SERVICIO: GAS			P & ID No: CUMFCCFC7PRE30001.1-1			REV: 013																																																																																																																																																	
TAG. No: PV-30704			DATA SHEET No: ECPULL18019GDPID020INSHD037.0																																																																																																																																																				
FABRICANTE: MASONELAN					CLASIFICACIÓN DE ÁREAS: CL 1 DV2																																																																																																																																																		
MODELO No: 88-41335					RANGO: CIRCUITO DE ENTREGA DEL ACTUADOR: 6-30PSI																																																																																																																																																		
No. SERIE: D-24-001208					CERTIFICACIÓN DEL FABRICANTE: ENTREGADO POR ECOPETROL																																																																																																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ITEM</th> <th colspan="10">DESCRIPCION DE LA PRUEBA</th> <th>SI</th> <th>NO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="4">INSPECCIÓN VISUAL</td> <td colspan="10">Instrumento de acuerdo a data sheet</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="10">Número de referencia del equipó de calibración:</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td rowspan="2">ACCESORIOS</td> <td colspan="10">Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td colspan="10">Válvulas solenoides operando correctamente</td> <td></td> <td>X</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">RESULTADO PRUEBA</td> <td colspan="1">Tipo de señal aplicada</td> <td colspan="5">Ascendente</td> <td colspan="5">Descendente</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="1">Puntos de prueba</td> <td>0%</td> <td>25%</td> <td>50%</td> <td>75%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>75%</td> <td>50%</td> <td>25%</td> <td>0%</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="1">Señal aplicada</td> <td>4 mA</td> <td>8 mA</td> <td>12 mA</td> <td>16 mA</td> <td>20 mA</td> <td>20mA</td> <td>16mA</td> <td>12mA</td> <td>8mA</td> <td>4mA</td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td colspan="1">Señal de salida</td> <td>0%</td> <td>25%</td> <td>50%</td> <td>75%</td> <td>100%</td> <td>100%</td> <td>75%</td> <td>50%</td> <td>25%</td> <td>0%</td> <td colspan="2"></td> </tr> </tbody> </table>												ITEM	DESCRIPCION DE LA PRUEBA										SI	NO	INSPECCIÓN VISUAL	Instrumento de acuerdo a data sheet										X		Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta										X		Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet										X		Número de referencia del equipó de calibración:												ACCESORIOS	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente											X	Válvulas solenoides operando correctamente											X	RESULTADO PRUEBA	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente							Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%			Señal aplicada	4 mA	8 mA	12 mA	16 mA	20 mA	20mA	16mA	12mA	8mA	4mA			Señal de salida	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%		
ITEM	DESCRIPCION DE LA PRUEBA										SI	NO																																																																																																																																											
INSPECCIÓN VISUAL	Instrumento de acuerdo a data sheet										X																																																																																																																																												
	Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta										X																																																																																																																																												
	Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet										X																																																																																																																																												
	Número de referencia del equipó de calibración:																																																																																																																																																						
ACCESORIOS	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente											X																																																																																																																																											
	Válvulas solenoides operando correctamente											X																																																																																																																																											
RESULTADO PRUEBA	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente																																																																																																																																																
	Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%																																																																																																																																												
	Señal aplicada	4 mA	8 mA	12 mA	16 mA	20 mA	20mA	16mA	12mA	8mA	4mA																																																																																																																																												
	Señal de salida	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%																																																																																																																																												
COMENTARIOS: Válvula de control, calibrada por el representante de la marca, se realizaron pruebas de lazos de apertura y cierre, resultados satisfactorios.																																																																																																																																																							
<b>REGISTRO FOTOGRAFICO</b>																																																																																																																																																							
																																																																																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th colspan="4">EJECUTO</th> <th colspan="4">REVISO</th> <th colspan="4">APROBO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>COMPANÍA</td> <td colspan="4">GLOBAL TECH</td> <td colspan="4">GLOBAL TECH</td> <td colspan="4">GLOBAL TECH</td> </tr> <tr> <td>FIRMA</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="4"></td> <td colspan="4"></td> </tr> <tr> <td>NOMBRE</td> <td colspan="4">Martin Silva.</td> <td colspan="4">Rubén Romero,</td> <td colspan="4">Andrés Fonseca.</td> </tr> <tr> <td>FECHA</td> <td colspan="4">10-jun-24</td> <td colspan="4">10-jun-24</td> <td colspan="4">10-jun-24</td> </tr> </tbody> </table>													EJECUTO				REVISO				APROBO				COMPANÍA	GLOBAL TECH				GLOBAL TECH				GLOBAL TECH				FIRMA													NOMBRE	Martin Silva.				Rubén Romero,				Andrés Fonseca.				FECHA	10-jun-24				10-jun-24				10-jun-24																																																																														
	EJECUTO				REVISO				APROBO																																																																																																																																														
COMPANÍA	GLOBAL TECH				GLOBAL TECH				GLOBAL TECH																																																																																																																																														
FIRMA																																																																																																																																																							
NOMBRE	Martin Silva.				Rubén Romero,				Andrés Fonseca.																																																																																																																																														
FECHA	10-jun-24				10-jun-24				10-jun-24																																																																																																																																														

## Apéndice I





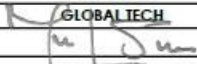


For- Edo-041 Número de Identificación (Ub-04)

 SERVICIOS & SOLUCIONES	<b>REPORTE DE TORQUEO</b>	FOR- EDO-041
		REV.4
		09/09/2019

<b>Proyecto:</b> MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG"									
<b>Isométrico:</b> CUMFCCFC76NG30935B2A1.1-3.0 (ISO CONTROL DE PRESION)					<b>Locación:</b> CPF CUSIANA / COMPRESORES OSIG				
<b>Equipo:</b> TORQUIMETRO DE CLIK									
<b>Serie:</b> 1304-E0016 / DQD21570				<b>Modelo:</b> S/M / 6014C					
<b>Clase Unión:</b> BRIDADA									
ÍTEM	CHEQUEOS						SI	NO	N/A
1	La persona que realizó el torqueo se encuentra certificada?						X		
2	Las uniones son de alto riesgo?							X	
3	Los Pernos corresponden al tipo de Unión?						X		
4	El Perno cumple con el diámetro requerido para su respectivo uso?						X		
5	Verificación de torque requerido al perno?						X		
6	Se le debe instalar arandelas o tuercas de seguridad?								X
DESCRIPCION DE UNION									
NUMERO IDENTIFICACION	DIAMETRO	TIPO DE LUBRICANTE	TIPO DE EMPAQUE	DIAMETRO DEL PERNO	GRADO	TAMAÑO TUERCA	TORQUE APLICADO (Lb/ft)		
UB-01	2"	CHESTERTON 725	R14	7/8"	B7	1 7/16"	200		
UB-02	6"	CHESTERTON 725	FLEXITALICO	1"	B7	1 /58"	290		
UB-03	6"	CHESTERTON 725	FLEXITALICO	1"	B7	1 /58"	290		
UB-04	¾"	CHESTERTON 725	FLEXITALICO	5/8"	B7	1 1/16"	75		
/									
<b>OBSERVACIONES:</b>									
<b>DATOS</b>		<b>EJECUTADO POR</b>		<b>VERIFICADO POR</b>		<b>APROBADO POR EL CLIENTE</b>			
COMPAÑIA		GLOBAL TECH		GLOBAL TECH		APPLUS			
FIRMA									
NOMBRE		FABIAN HOYOS		RUBEN ROMERO		FREDDY SALAZAR			
FECHA		28/05/2024		20/05/2024		21/05/2024			

## Apéndice M

For-Edo-003 Reporte No. 03

		<b>REGISTRO DE CALIBRACIÓN DE INSTRUMENTACIÓN</b>				FOR-EDO-003						
						REV 1						
						9/09/2019						
PROYECTO: MOC: PRP-CC-155 "CONTROL DE PRESIÓN EN CABEZAL DE SUCCIÓN DE COMPRESORES OSIG".					REPORTE No. 03	FECHA 17-may-24	PAGINA 1 DE 1					
CONTRATISTA: GLOBAL TECH			ÁREA: COMPRESORES OSIG			LOCACIÓN: CPF CUSIANA						
SERVICIO: GAS			P & ID No: CUMFCCFC7PRE30001.1-1			REV: 013						
TAG. No: PIT-30705			DATA SHEET No: ECPULL18019GDPID020INSHD037.0									
FABRICANTE: ROSEMOUNT				CLASIFICACIÓN DE ÁREAS: CL 1 DV2								
MODELO No: 3051S2TG5A2A11A1AB4E5N5Q4T1				RANGO: INSTRUMENTO (0-10000)PSI CALIBRACIÓN (0-3000)PSI								
No. SERIE: 23SHPE0211265				CERTIFICACIÓN DEL FABRICANTE: ENTREGADO POR ECOPETROL								
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA						SI	NO				
INSPECCIÓN VISUAL	Instrumento de acuerdo a data sheet						X					
	Instrumento limpio, sin daños, identificación correcta						X					
	Rango del instrumento de acuerdo al Data Sheet						X					
	Número de referencia del equipó de calibración:											
ACCESORIOS	Interruptores de posición (Abierto / cerrado) operando correctamente							X				
	Válvulas solenoides operando correctamente							X				
RESULTADO PRUEBA	Tipo de señal aplicada	Ascendente					Descendente					
	Puntos de prueba	0%	25%	50%	75%	100%	100%	75%	50%	25%	0%	
	Señal aplicada	4 mA	8 mA	12 mA	16 mA	20 mA	20mA	16mA	12mA	8mA	4mA	
	Señal de salida	0PSI	751PSI	15001PSI	2251PSI	3000PSI	3000PSI	2249PSI	1499PSI	750PSI	0PSI	
COMENTARIOS: Pruebas satisfactorias												
<b>REGISTRO FOTOGRÁFICO</b>												
												
EJECUTO		REVISO				APROBO						
COMPANÍA	GLOBAL TECH				GLOBAL TECH				GLOBAL TECH			
FIRMA												
NOMBRE	Martin Silva.				Rubén Romero.				Andres Fonseca.			
FECHA	17-may-24				17-may-24				17-may-24			

## Apéndice N

### Certificado de Calibración No. Cmk-Elem-23662.

FLPT3901 Edición: 05 2023-03-16

ISO/IEC 17025:2017  
10-LAC-049

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN COLMETRIK ®

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

NÚMERO: CMK-ELEM-23262

Solicitante: GLOBAL TECH SERVICIOS & SOLUCIONES S.A.S  
 Customer  
 Dirección: CALLE 2 No. 3 - 67 BARRIO GAITAN, TAURAMENA - CASANARE  
 Address

Instrumento Calibrado: INSULATION TESTER - Como Megóhmetro  
 Calibrated Instrument  
 Fabricante: FLUKE  
 Modelo: 1507  
 Serie: 155744110  
 Identificación: GL-MA-001  
 Dispositivo indicador: Pantalla LCD

Método de Calibración: CEM Procedimiento EL-004 para la calibración de megóhmetros. Edición Digital 1. (2008)  
 Calibration method EURAMET cg-15 Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters Version 3.0 (02/2015)

Lugar de Calibración: La calibración se realizó en sitio en las instalaciones de Colmetrik, ubicada en la calle 74 no. 57b-38,  
 Calibration site Bogotá D.C.

Trazabilidad Metrológica: Colmetrik S.A.S Colombiana de metrología establece la trazabilidad metrológica de sus mediciones al sistema internacional  
 Metrological Traceability de unidades (SI), por medio de una cadena ininterrumpida y documentada de calibraciones, las cuales se vinculan a los pertinentes patrones primarios de las unidades de medida del SI, a través institutos nacionales de metrología o laboratorios acreditados por parte de un organismo de acreditación firmante de acuerdos de reconocimiento mutuo, según se evidencia en los certificados referidos a continuación:

- Insulation Tester Cal Box Megger Limited. CB101 ID: CMK-030212

Certificado de Calibración No. 20221012-80954 del 2022/10/12 emitido por IET LABS INC. Acreditado a2La.

- Resistance standard model SRC-10G ID: CMK-030240



Certificado de Calibración No. 20221101-81268 del 2022/11/01 emitido por IET LABS INC. Acreditada a2La.

Condiciones ambientales: Temperatura Máxima 21,9 °C Temperatura Mínima 21,3 °C  
 Environmental Conditions Humedad Máxima 55 % hr Humedad Mínima 52 % hr

Fecha de recepción: 2023/09/21 Fecha de calibración: 2023/10/03  
 Date of reception Date of calibration

Fecha de emisión: 2023/10/04  
 Date of emission

Calibró: Jonathan Guillermo Velasquez Aguilar  
 Calibrated by Técnico de Laboratorio

Autoriza este certificado:   
 Authorized by Camilo Andrés Baquero Nieto  
 Coordinador de laboratorio  
 Revisado por  (Checked by)

Estos resultados corresponden únicamente a la calibración del equipo descrito. Este certificado no debe ser reproducido sin aprobación escrita de Colmetrik



ISO/IEC 17025:2017  
10-LAC-049

**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN COLMETRIK ®**  
CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN No. CMK-ELEM-23262

**Incertidumbre de medición:**

La incertidumbre de medición fue estimada de acuerdo con el documento JCGM 100:2008 GUM 1995 con correcciones menores. Evaluación de los datos de medición - Guía para la expresión de la incertidumbre de medida. Primera edición septiembre 2008 y el procedimiento interno LPT-06 "Incertidumbre de medición".

La incertidumbre de medición reportada fue estimada teniendo en cuenta las contribuciones debidas a la resolución del instrumento bajo prueba y a la dispersión de los datos al medir; por otra parte, se consideraron las contribuciones de incertidumbre debidas a la trazabilidad metrológica, deriva instrumental de los instrumentos patrón, variación de temperatura durante la calibración, variación de temperatura respecto a la temperatura de referencia reportada en el certificado de calibración del patrón y la variación de la tensión utilizada durante la prueba respecto al valor nominal.

La incertidumbre de medición expandida reportada es estimada como la incertidumbre estándar de la medida multiplicada por un factor de cobertura  $k$  reportada en la tabla de resultados. Si la incertidumbre dominante tiene una distribución rectangular se reportó un  $k=1.65$ . Estos factores corresponden a una probabilidad de cobertura aproximada del 95 %.

**Resultados de calibración:**

Se realizaron mediciones del instrumento, se determinaron los errores al medir respecto al instrumento patrón. Estos datos se emiten en la siguiente tabla de resultados como error  $\pm$  incertidumbre.

MEDICIÓN DE RESISTENCIA ( $\Omega$ ) - ohm ( $\Omega$ )							
Intervalo de Medición	Tensión de prueba	Valor Patrón	Lectura Instrumento*	Error Instrumento*	Factor de cobertura $k$	Incertidumbre expandida	
0,01 M $\Omega$ a 20,00 M $\Omega$	111 V	10,006647 M $\Omega$	10,05 M $\Omega$	0,043 M $\Omega$	2,0	0,056 M $\Omega$	
20,0 M $\Omega$ a 200,0 M $\Omega$	111 V	100,17107 M $\Omega$	100,5 M $\Omega$	0,33 M $\Omega$	2,0	0,56 M $\Omega$	
0,01 M $\Omega$ a 20,00 M $\Omega$	275 V	10,006647 M $\Omega$	10,08 M $\Omega$	0,073 M $\Omega$	2,0	0,056 M $\Omega$	
20,0 M $\Omega$ a 200,0 M $\Omega$	275 V	100,17107 M $\Omega$	100,2 M $\Omega$	0,03 M $\Omega$	2,0	0,56 M $\Omega$	
0,01 M $\Omega$ a 20,00 M $\Omega$	526 V	10,006647 M $\Omega$	10,04 M $\Omega$	0,033 M $\Omega$	2,0	0,056 M $\Omega$	
20,0 M $\Omega$ a 200,0 M $\Omega$	526 V	100,17107 M $\Omega$	100,1 M $\Omega$	-0,07 M $\Omega$	2,0	0,56 M $\Omega$	
0,1 M $\Omega$ a 200,0 M $\Omega$	1049 V	10,008127 M $\Omega$	10,0 M $\Omega$	-0,008 M $\Omega$	2,0	0,080 M $\Omega$	
0,1 M $\Omega$ a 200,0 M $\Omega$	1050 V	100,15820 M $\Omega$	100,1 M $\Omega$	-0,06 M $\Omega$	2,0	0,56 M $\Omega$	
200 M $\Omega$ a 2000 M $\Omega$	1050 V	996,480 M $\Omega$	997 M $\Omega$	0,5 M $\Omega$	2,0	5,6 M $\Omega$	
2,0 G $\Omega$ a 10,0 G $\Omega$	1050 V	10,009106 G $\Omega$	9,9 G $\Omega$	-0,109 G $\Omega$	2,0	0,078 G $\Omega$	

\*Valor Promedio

**Configuraciones:**

**Instrumento Bajo Calibración:**

- Las conexiones y configuraciones se realizaron según las indicaciones descritas en el manual del fabricante.
- La tensión de prueba fue tomada de la indicación del instrumento bajo calibración.
- La calibración se realizó a 2 Hilos utilizando la entrada INSULATION (+) y COM (-).
- La prueba en el equipo se realizó oprimiendo el botón "TEST" para cada punto.

**Observaciones:**

La calibración se realizó teniendo en cuenta, los tiempos de toma de medidas especificadas en el certificado del instrumento patrón:

El proceso de calibración en resistencias menores o iguales a 10 M $\Omega$  el tiempo de medición fue menor a 30 segundos.

El proceso de calibración en resistencias mayores a 10 M $\Omega$  el tiempo de medición es de aproximadamente 60 segundos.

Para la utilización de este instrumento deben tenerse en cuenta los resultados de esta calibración. El usuario determina de acuerdo a la tolerancia establecida para el proceso de medición con el instrumento, si este le es útil con los resultados emitidos.

Para las mediciones reportadas se usaron cables suministrados por el cliente.

El usuario es responsable de recalibrar en un intervalo apropiado de tiempo sus instrumentos.

Los resultados reportados corresponden al momento y a las condiciones en las cuales se realizaron las pruebas mencionadas. COLMETRIK S.A.S no se responsabiliza por los perjuicios que se puedan producir por uso inadecuado de este instrumento.

Se asignó y se adhirió al instrumento la estampilla de calibración número: CMK-ELEM-23262

FIN DE CERTIFICADO