

Instalación y montaje de un sistema de compresión de gas natural para el transporte y distribución en municipios de los departamentos de Cauca y Nariño.

Autor: Jaime Leonard Rodríguez Murillo – código: 23551914388

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica.

Tecnología en Mantenimiento Electromecánico Industrial

Universidad Antonio Nariño

Cali – Sede Farallones

Jarodriguez87@uan.edu.co

Director: Profesor, Ingeniero Ph.D Jorge Maldonado Villa

e-mail institucional del director: jmaldonadovilla@uan.edu.co

RESUMEN: El presente trabajo de grado trata sobre la instalación y montaje de un sistema de compresión de gas natural el cual se implementó para mejorar el transporte y distribución del energético en algunos municipios del departamento del Cauca y Nariño.

Con la instalación de la nueva unidad compresora se logró aumentar la cantidad de volumen comprimido de gas natural manteniendo así la demanda actual y se logró cubrir el consumo para los nuevos suscriptores que se han incrementado en los últimos años.

Con la implementación de la modalidad de transporte del gas natural a través de módulos removibles, se logró llegar a más usuarios y ampliar la red de distribución en otros municipios y departamentos

PALABRAS CLAVE: *Compresión, GNC, gas natural comprimido, plantas de distribución, módulos de transporte de gnc, gasoductos, volumen, suscriptores, gas virtual, estaciones de compresión, estaciones descompresoras.*

I. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Alcanos de Colombia es una empresa con más de 40 años de experiencia en la industria del gas domiciliario, con presencia en 137 Municipios de Colombia, los cuales se consolidan en nueve Centros Operativos que cuentan con Sede en las ciudades de Neiva, Ibagué, La Dorada, Fusagasugá, Rionegro, Pasto, Florencia, Popayán y Girardot.

Su infraestructura de Distribución está conformada entre otras por 14.000 Kms de redes de polietileno a media presión, 50 kms de redes de acero a alta presión, 135 estaciones de regulación y medición de las cuales 70 son estaciones descompresoras.

Es así, como se ha logrado a través de nuevas unidades de compresión, poder aumentar la cantidad de metros cúbicos comprimidos y mejorar el cubrimiento de la creciente demanda en las regiones y poblaciones mencionadas con altos niveles de satisfacción.

La instalación y montaje de otro compresor en la planta de Popayán cumplió con el objetivo principal de incrementar el volumen de gas comprimido y mejorar los tiempos en los que se realizan los llenados de los módulos.

Antes de la instalación y puesta en marcha de los equipos relacionados, se comprimía con dos unidades compresoras, las cuales entregaban un rendimiento volumétrico de 3500 – 3800 m³/h con presiones de entrada de 12 – 15 bar (174 – 217 psi) y presiones de llenado máximas de 250 bar (3625 psi).

Como se puede observar en la tabla No 1 donde se resalta el aumento de alrededor de 1000 m³/h

Tabla No 1 volumen comprimido con 2 compresores vs 3 compresores.

Fuente: Autor

VOLUMEN COMPRIMIDO CON 2 COMPRESORES	VOLUMEN COMPRIMIDO CON 3 COMPRESORES
M ³ /h	M ³ /h
3500 - 3800	4500 - 4800

En el siguiente artículo se describen las variables de presión y volumen de acuerdo con lo consultado en el Libro de Mecánica de Fluidos de Cengel – Cimbala, donde se define que: Presión Atmosférica Estándar:

Sistema métrico: $P_{atm} = 1_{atm} = 101.345 \text{ kPa}$;

Sistema Inglés: $P_{atm} = 1_{atm} = 14.7 \text{ psi}$

Volumen:

Sistema métrico: $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L} = 10^6 \text{ cm}^3$

Sistema Inglés: $1 \text{ m}^3 = 6.1024 \times 10^4 \text{ In}^3 = 35315 \text{ ft}^3$

Flujo volumétrico:

Sistema métrico: $1 \text{ m}^3/\text{s} = 60000 \text{ L}/\text{min} = 10^6 \text{ m}^3/\text{s}$

Sistema Inglés: $1 \text{ m}^3/\text{s} = 15850 \text{ gal}/\text{min} = 35315 \text{ ft}^3/\text{s}$

Con la entrada en servicio de la nueva unidad compresora, se incrementó el rendimiento volumétrico de la estación en $1000 \text{ m}^3/\text{h}$.

De acuerdo con las variables mencionadas, se observa que los tiempos de llenado de los módulos de transporte se redujeron hasta en una hora, como se puede tomar en consideración en la tabla No 2.

Tabla No 2. Volumen/Tiempo con 2 compresores vs 3 compresores

Fuente: Autor

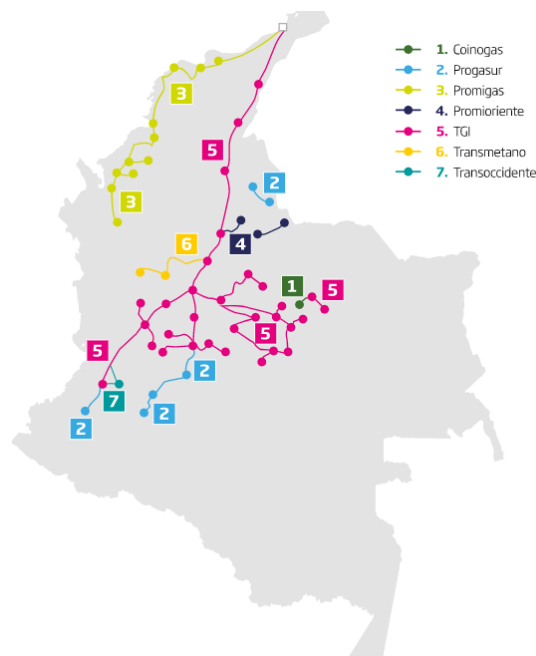
VOLUMEN/TIEMPO CON 2 COMPRESORES		VOLUMEN/TIEMPO CON 3 COMPRESORES	
M ³ /h	3500 - 3600	M ³ /h	4500 - 4800
TIEMPO	3 HORAS	TIEMPO	2 HORAS

Por otra parte, es importante resaltar, que la modalidad de gas virtual (estaciones compresoras y estaciones descompresoras) se implementó, teniendo en cuenta que los gasoductos (tuberías que transportan gas natural) por la geografía de Colombia no permitían la llegada de estas líneas a las partes más remotas de las regiones y donde se requería el uso del gas natural en distintos sectores como el domiciliario e industrial.

Estos gasoductos llegaban hasta el departamento del Valle del Cauca por el sur occidente, y hasta el departamento del Huila como se puede ver en el mapa No 1, de las líneas y empresas que transporta en gas natural.

Mapa No 1. Colombia y líneas de transporte de gas natural y empresas que los transportan.

Fuente: www.promigas.com



A partir de esta falencia Alcanos de Colombia empieza a realizar el transporte del combustible a través de una modalidad virtual o estaciones madre e hija como se denomina en la resolución 40278 de 2017 del Ministerio de Minas y Energía.

Esta modalidad se compone de unos módulos que a su vez están conformados por cilindros para almacenar gas a alta presión (hasta 5000 psi) y posteriormente son izados sobre camiones para ser transportados hasta las estaciones descompresoras.

En las estaciones compresoras se ubican los compresores que se encargan de elevar la presión del gas y llenar los módulos.

Los compresores son maquinas dinámicas que funcionan a través de un motor eléctrico, tienen una presión de entrada X, esta es elevada a una presión de salida Y.

Los compresores utilizados para esta clase de procesos son de tipo pistón, reciprocantes, normalmente son de 3 etapas de compresión y se pueden encontrar en posición horizontal y angular como se muestra en los diagramas No 1 y No 2:

Diagrama No 1. Compresor reciprocante pistones horizontales.

Fuente: Manuales Compresores Aspro

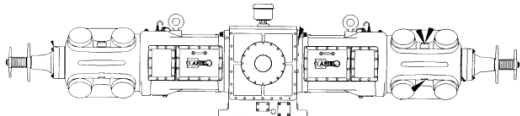
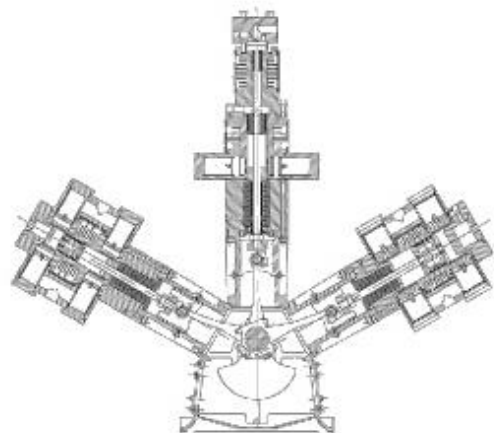


Diagrama No 2. Compresor reciprocante pistones en posición angular.

Fuente: Manuales Compresores IMW



Las capacidades volumétricas de compresión de estas máquinas están relacionadas directamente con la presión de entrada.

Estos equipos pueden trabajar a presiones mínimas desde 2 bar (29 psi) y máximas hasta 40 bar (580 – 600 psi). Obteniendo rendimientos entre 450 m³/h hasta 5000 m³/h, como se explica en la tabla No 3

Tabla No 3. Comparativo de rendimiento entre compresores de baja y alta succión

Fuente: Autor

COMPRESOR DE BAJA SUCCION (2 - 4 BAR)		COMPRESOR DE ALTA SUCCION (12 - 40 BAR)	
RENDIMIENTO	450 - 650 m ³ /H	RENDIMIENTO	900 - 5000 m ³ /H

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Alcanos de Colombia S.A. E.S.P. se encuentra constituida como sociedad anónima, con el fin de desarrollar actividades como distribuidor y Comercializador de Gas Natural, desde enero de 1977 y tiene su sede principal en la ciudad de Neiva – Huila.

Basados en el incremento de nuevos suscriptores para el uso de gas natural en algunos municipios de los departamentos del Cauca y Nariño. La Empresa Alcanos de Colombia, se vio en la necesidad de aumentar la capacidad de compresión y volumen en sus plantas de distribución de gas natural comprimido con el fin de cubrir dicha demanda.

De acuerdo con lo mencionado, Alcanos de Colombia, abrió una licitación para que diferentes proveedores del sector del gnc (gas natural comprimido) a nivel nacional ofertaran equipos de compresión que tuvieran la suficiente capacidad y desempeño para mejorar las condiciones de volumen en cuanto a los términos establecidos.

Siendo así, la empresa Comercializadora e Implementos GNC SAS. Fue quien adquirió el contrato para la venta, conexión y puesta en marcha del compresor marca Aspro.

Una vez en correcto funcionamiento estos equipos, la capacidad de compresión y volumen se aumentó alrededor de 1000 m³/hora en la planta de distribución.

La planta de distribución ubicada en la ciudad de Popayán (Cauca) tenía en promedio una capacidad de compresión de 3000 m³/hora aproximadamente, lo que permitía el llenado de un módulo de transporte de GNC con aforo para almacenar 5000 m³ se realizará en un tiempo aproximado de dos horas.

Con la entrada en funcionamiento del compresor de Aspro esta capacidad se aumentó a 4000 m³/hora. Significando esto, que el llenado de los módulos de transporte de GNC de 5000 m³ se reducirá a un tiempo de 1 hora con 20 minutos o 1 hora con 30 minutos.

Ampliando de esta manera la capacidad en volumen comprimido y almacenado, para ser transportado y obtener la cobertura en otras poblaciones y municipios que requieren el uso del energético.

En el siguiente gráfico se puede observar el comportamiento de los tiempos de llenado como disminuyeron frente al aumento de capacidad volumétrica con la entrada en operación del compresor de Aspro.

Este comportamiento se puede observar en el gráfico No 1 y la tabla No 4

Gráfico No 1. Comparativo tiempo de llenado
Fuente: Autor

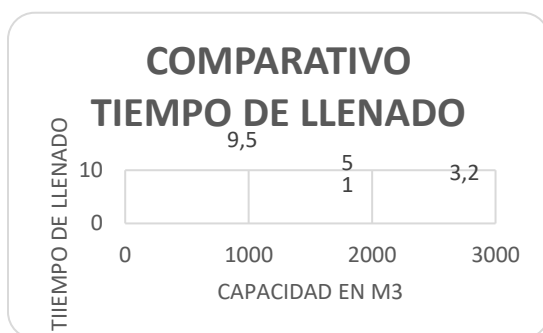


Tabla No 4. Comparativos tiempos de llenado
Fuente: Autor

COMPARATIVO TIEMPO DE LLENADO		
COMPRESORES	CAP. m3	T. LLENADO
COMP. 1	1800	5
COMP. 2	950	9,5
COMP. 1 y 2	2750	3,2

III.JUSTIFICACIÓN

Con la nueva unidad de compresión en la planta, se obtuvo un aumento del 15 al 20% de la capacidad volumétrica entregada en los módulos de transporte.

Durante un turno de 8 horas se realizaba normalmente el llenado de dos módulos de transporte con capacidad mínima de 5000 m³, con la operación de la unidad compresora Aspro, se alcanzó el llenado de un tercer modulo en el mismo turno de 8 horas

Con esto se logró cumplir con la demanda actual en menor tiempo y visualizar la posibilidad de aumentar la cobertura en más poblaciones con el mismo activo logístico que se encuentran en este momento en servicio.

La importancia de la distribución de este combustible a nivel domiciliario e industrial en las poblaciones mencionadas permite que la economía obtenga más beneficios por sus bajos costos de uso.

Con este servicio crecerán, sectores como el gastronómico y turístico. (con el uso de gasodomésticos como son calentadores de agua, hornos industriales o de uso doméstico)

La empresa Comercializadora E Implementos GNC, encargados de instalar y poner en funcionamiento la unidad compresora Aspro, son los responsables de mantenibilidad, operatividad y disponibilidad de los equipos.

El área de GNC (Gas Natural Comprimido), tiene a cargo la logística de transporte de Gas Natural y el mantenimiento de los activos de compresión.

Como se puede observar en la tabla No 5, actualmente se cuenta con seis equipos de compresión ubicados de la siguiente manera:

Tabla No 5. Relación de equipos a nivel nacional.

Fuente: Alcanos de Colombia

Nº. EQUIPO	UBICACIÓN	MARCA	MODELO
1	Popayán-Cauca	Nuovo Pignone	2BV/TN
2	Hobo-Huila	Aspro	IODM 115-3-12
3	Popayán-Cauca	Fornovo gas	4DA300/315 GASVECTOR
4	Popayán – Cauca	Aspro	IODM 115-3-12
5	Flandes-Tolima	Aspro	IODM 115-3-12
6	Flandes-Tolima	Aspro	IODM 115-3-12

IV. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Instalar y montar un sistema de compresión para incrementar la capacidad y volumen de una planta de distribución de GNC (Gas Natural Comprimido) en algunas poblaciones del departamento del Cauca y Nariño.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Implementar basados en el marco normativo de la resolución 180928 de 2006 modificada y derogada por la resolución 40278 de 2017 del ministerio de minas y energía, sobre obras civiles, montajes mecánicos y eléctricos, puesta en marcha y mantenimiento de una estación de servicio de compresión dispuesta para el llenado, transporte y posterior descompresión de gas natural.

Definir el desarrollo satisfactorio de las obras civiles y montajes eléctricos y mecánicos de la implementación.

Implementar y desarrollar las labores de conexiones eléctricas de potencia y control, conexiones neumáticas y puesta a punto de las maquinas antes de iniciar la operación.

Diagnosticar a través de seguimiento y registro de parámetros operacionales de los equipos, que la capacidad y rendimiento nominales del compresor instalado corresponda con la capacidad entregada.

Determinar los parámetros de funcionamiento de los equipos instalados con el fin de identificar posibles riesgos de operación.

Verificar el funcionamiento de los equipos durante el proceso de compresión y llenado de módulos de transporte.

V. ALCANCE

Teniendo en funcionamiento esta nueva unidad de compresión, se logró aumentar el volumen de gas natural comprimido en los módulos a una presión de llenado máxima de 3600 psi y un volumen alrededor de 1200 m³.

Posteriormente es transportado a los city gate o estaciones descompresoras, ubicadas en los municipios, donde estos módulos serán descomprimidos hasta llegar a presiones de 30 o 40 bar 435 - 580 psi y 200 – 300 m³

Las limitaciones en el proceso se deben a las alteraciones del clima, dado que por ser una región donde las carreteras no están en buen estado, se presentan derrumbes y averías en vías, retrasando con esto la llegada de los módulos para ser descomprimidos.

También se presentan averías de tipo mecánico en los vehículos que transportan los módulos.

VI. METODOLOGIA

El tipo de metodología que se utilizó en este proyecto es de tipo descriptiva y explicativa en la cual se definen las variables para la instalación, puesta en marcha y mantenimiento de un compresor que permite el aumento de la capacidad de compresión y volumen de gas natural con el fin de ser transportado a diferentes poblaciones.

Se implementó el método de tipo inductivo deductivo, donde se analizó de lo general a lo particular y viceversa.

Aspectos y variables que influyen en el proceso tales como:

Debido al aumento de suscriptores para el uso de gas natural en muchas poblaciones, empresas como Alcanos de Colombia, se encargan de transportar este combustible a través de distintas modalidades, entre estas: redes de gasoductos y módulos o bancos de almacenamiento móviles.

Posteriormente es distribuido en las casas, establecimientos comerciales o industria de acuerdo con la necesidad del servicio a través de redes locales.

Las etapas para cumplir con los objetivos propuestos son las siguientes:

Se realizó por parte de la empresa Alcanos de Colombia, un proceso de licitación para la compra de unas unidades de compresión.

La empresa Comercializadora e Implementos GNC, logró obtener el contrato para la venta, instalación, puesta a punto, puesta en marcha y mantenimiento de los equipos compresores.

Se realizaron por parte de contratistas especializados, todos los cálculos necesarios para el diseño de la obra civil, eléctrica y mecánica de la planta donde quedaría funcionando el compresor.

Se iniciaron y concluyeron las obras mencionadas, previas aprobaciones del área de interventoría de Alcanos de Colombia.

Terminadas las obras civiles, montajes mecánicos (instalación de tuberías de alta presión), conexiones de acometidas eléctricas de potencia y control.

Se realizó el descargue de los equipos en el sitio, una unidad compresora Aspro, con su respectivo tablero de distribución eléctrica y control y demás estructuras de la cabina, necesarias para dispersión y difusión de aire caliente expedido por la unidad compresora y las tomas laterales de aire a temperatura ambiente para el proceso de enfriamiento del gas comprimido.

Ya ubicados en sitio, estos equipos, se procedió con las siguientes labores:

- Conexiones eléctricas de potencia, para la alimentación a 440 VCA de dos motores uno de 150 HP y otro motor usado para el proceso de enfriamiento a través de un intercambiador de calor con un motor de 7 HP.
- Se realizaron las conexiones eléctricas para alimentación del tablero de distribución y control a través de un PLC (Controlador Lógico Programable) y sistema de arranque con Soft Starter (arrancador suave)
- Seguido, se realizó el conexionado mecánico de las líneas de presión de entrada (12 bar) a través de una manguera fleximetálica de 2" de diámetro, la cual va asegurada por bridas ANSI 600 al tren de succión de la unidad compresora. Como se muestra en las imágenes No 1 y 2.

Imágenes No 1 y 2. Montajes de tuberías
Fuente: Autor



- Conexión de tuberías, mangueras y accesorios de instrumentación como válvula check, transductor de presión y válvula de bola, ubicadas en la línea de salida (250 bar) para realizar el llenado de los módulos de transporte. Como se muestra en la imagen No 3

Imagen No 3. Montaje de instrumentos
Fuente: Autor



Manguera presión de salida.
Capacidad 6000 psi, dieléctrica.

Válvula de bola, corte manual de presión de salida.
Capacidad 6000 psi

Transductor de presión.
Rango de 0 – 4000 psi / 0 – 20 mA

Se realizaron las actividades de conexiones eléctricas y mecánicas, se iniciaron pruebas de funcionamiento y se realizó el seguimiento a parámetros de operación de las maquinas, presión de aceite, temperaturas y presiones inter - etapas, hasta alcanzar la presión de parada en 250 bar. Como se puede observar en la imagen No 4:



Manómetros, presiones Inter etapas

Indicadores de temperaturas Inter etapas

Imagen No 4. Parámetros operacionales.
Fuente: Autor

Seguido de las pruebas de arranque de los equipos, se realizaron pruebas de llenado de los módulos de transporte de GNC. se pudo observar en las imágenes No 5 y 6



Imágenes No 5 y 6. Proceso de llenado de los módulos.
Fuente: Autor

Con las pruebas de llenado realizadas, se definió el objetivo principal para el que se desarrolló el proyecto.

Observando resultados positivos ya que se consiguió el incremento del volumen de carga en los módulos de transporte de GNC y se redujeron los tiempos de llenado optimizando este proceso.

Posterior a las pruebas y actividades descritas, se continuo con planes de mantenimiento sugeridos por el fabricante de los equipos. Estos planes de mantenimiento basados en la recolección de información operativa (presiones, temperaturas, corrientes, voltajes, horas de trabajo).

Igualmente, basados en mantenimientos preventivos – predictivos a través de estudios de termografías, análisis de vibraciones, control de alineación y tensión del sistema de transmisión (correas) realizados mensualmente.

Control de temperaturas con sensor infrarrojo, control de fugas con detectores de metano, toma y registro de parámetros operaciones (presiones y temperaturas entre etapas), volumen aspirado (m³/h), consumos de energía (kW/h) para establecer consumos y rendimientos de las maquinas, se realizan semanalmente.

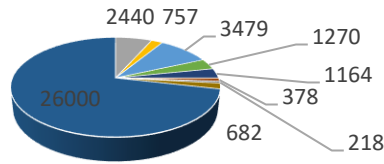
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al presentarse un crecimiento de nuevos suscriptores en la región, se identifica la necesidad no solo de mantener sino de aumentar la capacidad de distribución de gas natural en la región.

En la siguiente gráfica, se puede observar el número de suscriptores en los departamentos de Cauca y Nariño

Gráfico No 2. Número de usuarios
Fuente: Autor

USUARIOS GAS NATURAL EN CAUCA Y NARIÑO



- USUARIOS CONECTADOS ▪
- PATIA ▪
- TIMBIO ▪
- SILVIA ▪
- TOTORO ▪
- PASTO ▪
- MORALES ▪
- EL TAMBO ▪
- ROSAS ▪
- CAGIBIO ▪

Por tal motivo alcanos estudió las diferentes opciones para aumentar su capacidad y rendimiento en términos de volumen en su planta de Popayán y definió hacerlo mediante la instalación de una nueva unidad de compresión.

Los resultados obtenidos con el desarrollo de este proyecto fueron: implementación, puesta a punto, puesta en marcha, mantenibilidad, disponibilidad y operatividad de un equipo de compresión en una planta de transporte y distribución de Gas Natural Comprimido en la ciudad de Popayán – Cauca.

Este proyecto se desarrolló teniendo en cuenta el marco normativo estipulado por el ministerio de minas y energía para la implementación de estaciones dispuestas para GNC, a través de las resoluciones 180928 de 2006 y sus respectivas sustituciones y derogaciones en las resoluciones 40278 de 2017 y 40302 de 2018.

En cuanto a las conexiones eléctricas, mecánicas y neumáticas, se logró obtener resultados positivos dado que los equipos iniciaron operación sin presentar anomalías significativas que impidieran en correcto desarrollo del proceso de llenado y posterior distribución del combustible.

Se logró medir la capacidad de compresión de los equipos, definiendo con esto que el volumen comprimido es suficiente para cubrir la demanda de gas natural en la región, teniendo en cuenta el incremento de nuevos suscriptores.

A. DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO ACTUAL.

El sistema de abastecimiento actual de la planta de compresión está sobre los 4000 m³ con tres compresores instalados, sin embargo, por razones de consumo eléctrico, en funcionamiento quedan normalmente 2 equipos.

La planta actualmente cuenta con una capacidad volumétrica instalada estimada de 3800 – 4000 m³/h, con tres unidades de compresión.

Esta planta tiene un promedio de despacho diario de 30.000 m³, los cuales se distribuyen en las diferentes poblaciones del departamento del cauca.

B. EVALUACION DE LOS COMPRESORES ACTUALES.

Los equipos de compresión que se encuentran en funcionamiento actualmente están de la siguiente manera:

Compresor Fornovogas: capacidad nominal 1800 – 2000 m³/h a 12 bar presión de entrada; presenta fallas en sistema de acople directo motor-compresor por tal razón funciona a un 60% del rendimiento estándar. Es decir, debe hacer la parada automáticamente del ciclo por encima de los 3600 psi comprimidos, sin embargo, por la falla presentada, este equipo se detiene de manera manual a los 3000 psi. Disponibilidad operativa 80 - 90%. Las características técnicas del compresor se describen en la siguiente tabla No 6.

Tabla No 6. Ficha técnica compresor fornovogas
Fuente: Autor.

FICHA TECNICA COMPRESOR FORNOVGAS	
PRESION MAXIMA DE ENTRADA	13 BAR (188 PSI)
PRESION MINIMA DE ENTRADA	6 BAR (87 PSI)
CAPACIDAD VOLUMETRICA (@13 BAR INLET)	2000 m3/h
ALIMENTACION CONTROL	220 V
ALIMENTACION POTENCIA	440 V
PRESION MAXIMA DE ENTREGA	250 BAR (3625 PSI)
MOTOR PRINCIPAL	250 KW

Compresor Nuovo Pignone: capacidad nominal de 700 – 800 m³/h a 12 bar presión de entrada. Presenta varias fugas por falta de mantenimientos preventivos programados mayores, presenta fallas en el motor principal, trabaja al 30% de la capacidad nominal, con disponibilidad operativa reducida al 30 - 40%. Las características técnicas del compresor se describen en la siguiente tabla No 7.

Tabla No 7. Ficha técnica compresor nuovo pignone
Fuente: Autor.

FICHA TECNICA COMPRESOR NUOVO PIGNONE	
PRESION MAXIMA DE ENTRADA	13 BAR (188 PSI)
PRESION MINIMA DE ENTRADA	6 BAR (87 PSI)
CAPACIDAD VOLUMETRICA (@13 BAR INLET)	850 m ³ /h
ALIMENTACION CONTROL	220 V
ALIMENTACION POTENCIA	440 V
PRESION MAXIMA DE ENTREGA	250 BAR (3625 PSI)
MOTOR PRINCIPAL	150 KW
SIST. DE ENFRIAMIENTO	LIQUIDO

Compresor Aspro: capacidad nominal 950 – 1050 m³/h a 12 bar presión de entrada, Se encuentra en buen estado de funcionamiento, presenta fugas de aceite mínimas en el sistema de lubricación secundaria, está operando a una capacidad del 95% con una disponibilidad operativa del 99%. Las características técnicas del compresor se describen en la siguiente tabla No 8.

Tabla No 8. Ficha técnica compresor Aspro
Fuente: Autor.

FICHA TECNICA COMPRESOR ASPRO	
PRESION MAXIMA DE ENTRADA	13 BAR (188 PSI)
PRESION MINIMA DE ENTRADA	8 BAR (116 PSI)
CAPACIDAD VOLUMETRICA (@13 BAR INLET)	1000 m ³ /h
ALIMENTACION CONTROL	220 V
ALIMENTACION POTENCIA	440 V
PRESION MAXIMA DE ENTREGA	250 BAR (3625 PSI)
MOTOR PRINCIPAL	132 KW
MOTOR DE ENFRIAMIENTO	7 KW

C. CARACTERIZACION COMPRESOR ASPRO

El nuevo equipo está compuesto por una unidad compresora con pistones recíprocos, de disposición horizontal, con un motor principal de 150 HP y un motor de enfriamiento de 7 HP.

Es de la marca Aspro, de fabricación Argentina, tiene una capacidad nominal de 980 m³ con una presión de entrada de 12 bar.

El fluido (Gas Natural) ingresa por el tren de succión a un tanque de recuperación, a través de un transductor de presión el PLC recibe la señal de parada y arranque de los equipos.

Posterior a la señal de arranque una válvula solenoide se abre permitiendo la entrada de gas a la primera etapa de compresión, luego de ser comprimida hasta 50 bar aproximadamente, pasa a través de un intercambiador de calor para enfriar el fluido y pasar a la segunda etapa, donde se repite el ciclo. Esta presión en segunda etapa se eleva hasta 150 bar, pasa a enfriamiento y luego a tercera etapa donde alcanza una presión de 250 bar.

Luego pasa a la línea de descarga o salida hacia las torres de llenado; en esta línea se ubica el transductor de presión que comanda la parada a 250 bar y el arranque a 200 bar.

D. INSTALACION Y EMPALME

Al termino de las obras civiles, mecánicas y eléctricas, se continuó con el descargue de los equipos. Así: una unidad compresora paquetizada en una cabina diseñada para la intemperie, que contiene una unidad compresora, dos motores eléctricos uno de 150 HP y otro de 7 HP para enfriamiento, un intercambiador de calor, tanque de recuperación, tuberías, válvulas y demás componentes de acople e instrumentación de control y proceso.

Ubicados estos equipos en el sitio, se iniciaron los conexiones eléctricos de los motores de 150 HP y 7 HP con una alimentación de 440 VCD.

Estas conexiones se realizaron dentro de la cabina donde están ubicados los equipos mencionados, la unidad compresora se conecta al motor principal a través del sistema de transmisión por correas (polea – volante).

Se efectuaron las conexiones y empalme de 3 cables de calibre 2-0 las borneras de las bobinas del motor de 150 HP alimentados a 440 VDC.

Igualmente, en una caja de distribución con normativa AP, se encuentran las conexiones del motor de enfriamiento de 7 HP / 5 KW, el cual es alimentado igualmente a 440 VCD.

Teniendo los motores conectados, se procedió a conectar estas señales al sistema de arranque a Soft Starter ubicado en el tablero eléctrico y de control.

Dentro de la cabina del compresor, hay unos paneles de instrumentos, los cuales envían información sobre presiones y temperaturas de trabajo y realizan la función de controlar los ciclos de compresión de los equipos, detectando las variables mencionadas.

Estos instrumentos son los siguientes:

- a. Un transductor de Presión (PT) de 0 – 40 bar (0 – 20 mA) en la línea de entrada. Este elemento se configura en el PLC con una presión mínima (8 bar) y una presión
- b. máxima (18 bar), en el evento que se detecten presiones por fuera de los rangos configurados, los equipos se alarman y detienen el ciclo.
- c. Un transductor de Presión (PT) de 0 – 400 bar (0 – 20 mA) en la línea de salida. Este

elemento se configura en el PLC con una presión mínima (200 bar) y una presión máxima (260 bar), en el evento que se detecten presiones por fuera de los rangos configurados, los equipos se alarman y detienen el ciclo.

- d. Un transductor de Presión (PT) de 0 – 40 bar (0 – 20 mA) en la línea de presión de aceite. Este elemento se configura en el PLC con una presión mínima (4 bar) y una presión máxima (12 bar), en el evento que se detecte que la presión del sistema de lubricación principal de la unidad compresora esta por fuera de los rangos configurados, el equipo se alarma y detiene el ciclo de compresión.
- e. Un Termómetro – Swicht, el cual detecta la temperatura que se registra en la última etapa del ciclo de compresión, en el PLC asimismo se configura, solamente por alta temperatura, es decir, en el momento que el gas pasa a la línea de salida y supera los 130°C los equipos se alarman y se detienen.
- f. Misma forma, se instalaron 3 termómetros que registran las temperaturas en la presión de entrada, 1ra y 2da etapa, estos instrumentos solamente son de proceso, no infieren en la operación de los equipos.

En el tablero eléctrico y de control, está instalado un PLC, que se programa con unos parámetros que permiten el arranque y parada de los ciclos de compresión.

Igualmente, el PLC registra información que envía el arrancador suave; este equipo permite que el motor principal inicie y termine el ciclo a través de una señal enviada por el PT de la línea de salida al PLC.

A su vez, registra las tensiones (V) e intensidades (A) de las líneas de poder que alimentan (440 VCA) el Soft Starter y los motores, estas dos variables son configuradas por altas y bajas.

Teniendo todos los instrumentos mencionados debidamente instalados, conectados y configurados, se realizaron labores de revisión y reajuste de las partes móviles de la unidad compresora (cigüeñal, bielas, crucetas, vástagos de pistones, pistones, anillos de pistones) con el fin de hacer pruebas de giros en vacío y verificar posibles en ese sistema.

Ya realizadas las revisiones y ajustes, se iniciaron pruebas de giro de los motores y simular ciclos de compresión en vacío (sin estrada de gas al sistema).

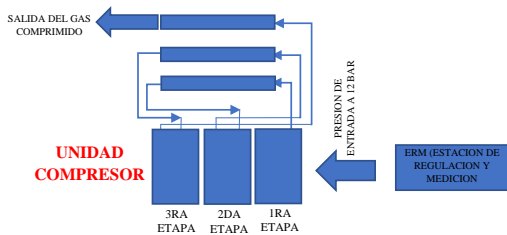
Posterior a estas pruebas, se realizaron algunos ciclos de compresión a bajas presiones en las etapas, con el objetivo de hallar fugas en tuberías, flanches, bridas, mangueras, válvulas de seguridad.

Finalizado todo el proceso mencionado y corregidos los inconvenientes encontrados, se establece que los equipos están listos para iniciar ciclos de compresión y llenado de los correspondientes módulos de transporte de la planta.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL CICLO DE COMPRESION.

En el siguiente diagrama No 3 se puede observar el ciclo de compresión, desde el momento en que el gas ingresa desde la ERM (estación de regulación y medición) a 12 bar aproximadamente, y posteriormente se comprime por etapas en la unidad compresora, pasando por los intercambiadores de calor donde se enfría y finalmente sale hacia las torres de llenado donde se abastecen los módulos para ser transportado el gas.

Diagrama No 3. Ciclo de compresión.
Fuente: Autor.



E. AJUSTES Y FUNCIONAMIENTO

Se iniciaron las pruebas de compresión realizando el llenado de un módulo con una capacidad de 4000 m³, este se llenó a una presión inicial de 50 – 60 bar para realizar nuevamente inspecciones de fugas con una presión más alta en el sistema.

Gradualmente se incrementaron las presiones de llenado hasta lograr 250 bar que corresponde a la presión máxima de llenado de un cilindro de almacenamiento de gas natural comprimido de acuerdo con la resolución 40278 de 2017.

Durante el ciclo de llenado se tomaron datos operacionales, como: temperaturas y presiones entre etapas y de aceite, corrientes y voltajes, tiempos de llenado, rendimiento volumétrico.

Terminado el ciclo, se realizaron las ultimas

verificaciones e inspecciones a fin de realizar la entrega oficial de los equipos a la empresa alcanos.

F. EVALUACION Y FUNCIONAMIENTO

El compresor Aspro instalado actualmente se encuentra en funcionamiento teniendo en cuenta las características operacionales recomendadas por el fabricante.

Dentro del funcionamiento de los equipos se pueden observar las siguientes variables operativas descritas en las tablas No 9, 10 y 11.

VARIABLES OPERATIVAS		
	PRESIONES	TEMPERATURAS
1RA ETAPA	650 PSI	80°C
2DA ETAPA	1750 PSI	92°C
3RA ETAPA	3625 PSI	90°C
ACEITE	80 PSI	34°C
ENTRADA	175 PSI	25°C
SALIDA	3625 PSI	28°C
LLENADO	3600 PSI	30°C

Tabla No 9. Variables operativas.

Fuente: Autor

Tabla No 10. Variables eléctricas.
Fuente: Autor.

VARIABLES ELECTRICAS		
MOTOR PPAL	CORRIENTES	VOLTAJES
L1	450 V	210 A
L2	452 V	205 A
L3	455 V	202 A
MOTOR FAN		
L1	453 V	16 A
L2	450 V	15 A
L3	452 V	16 A

Con la descripción de las anteriores variables operativas se logra establecer el comportamiento de los equipos, y a través de visitas de inspección semanales, definir si se presentan variaciones en la información para tener la capacidad de identificar posibles fallas.

Por otra parte, algunos aspectos que no son susceptibles de control se presentan en la alimentación externa.

Por ejemplo: en la red de transporte del gas natural y el suministro eléctrico a la planta; teniendo en cuenta que, si alguno de estos ítems falla, causaría la inoperancia de los equipos.

En la tabla No 11, se puede observar el consumo de energía reactiva frente a rendimiento volumétrico del compresor para establecer el promedio de consumo eléctrico por m³ comprimido.

Tabla No 11. Consumo de energía.
Fuente: Autor.

VOLTAJE		CORRIENTE		ENERGIA ACTIVA	RENDIMIENTO	CONSUMO PROMEDIO x m ³
CO MP.	VE NT.	CO MP.	VE NT.			
460	459	205	17	151,9488	950	0,1799
459	457	201	16	148,0417	987	0,1700
461	460	212	17	157,0811	964	0,1829

G. NIVEL NORMATIVO

Todas las operaciones de gas natural comprimido (GNC) y gas natural comprimido vehicular (GNCV) en Colombia son regidas dentro del marco normativo de las siguientes resoluciones expedidas por el Ministerio de Minas y Energía:

- Resolución 180928 de 2006 derogada por:
- Resolución 40278 de 2017, modificada por:
- Resolución 40302 de 2018

APORTE DEL SISTEMA.

En los gráficos No 3, 4 y 5 a continuación se describe comparativamente como mejoraron los tiempos de llenado de los módulos frente al tiempo que se demora cada compresor en llenar los módulos para ser transportados a sus respectivos destinos.

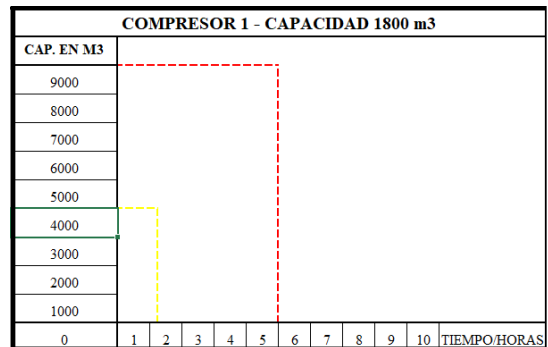


Gráfico No 3. Comparativos de tiempos de llenado.
Fuente: Autor.

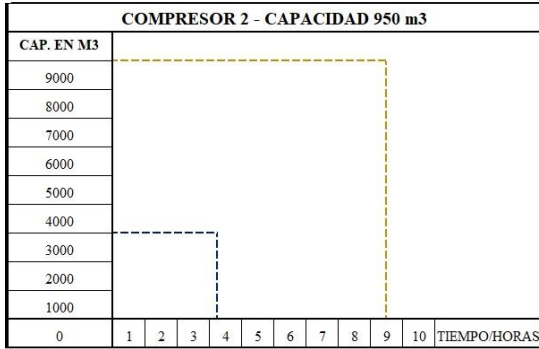


Gráfico No 4. Comparativos de tiempos de llenado.
Fuente: Autor.

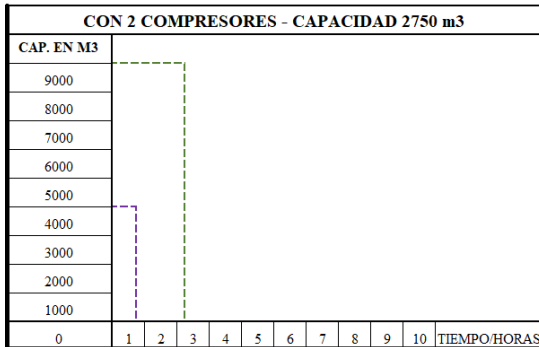


Gráfico No 5. Comparativos de tiempos de llenado.
Fuente: Autor.

En el gráfico No 6 se describen las horas de trabajo de los equipos y el incremento que estas han tenido desde el inicio de operación del compresor Aspro. Donde se muestra el aumento de la operatividad de la planta.

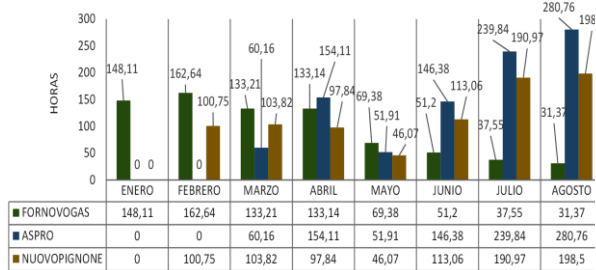


Gráfico No 6. Incremento horas de trabajo de equipos.
Fuente: Alcanos de Colombia

Esta condición ha permitido que la eficiencia de la planta en cuanto a capacidad de compresión y transporte haya mejorado.

VIII. CONCLUSIONES.

Este proyecto se realizó teniendo en cuenta la necesidad de ampliar la capacidad volumétrica de una planta de distribución de Gas Natural Comprimido, con el fin de ser transportado en módulos de almacenamiento y su posterior abastecimiento en municipios de los departamentos de Cauca y Nariño,

Con la implementación del compresor Aspro se logró incrementar la capacidad volumétrica de la planta compresora de Alcanos en Popayán, de 3000 m³/h a 4500 m³/h.

Evaluado el marco normativo de la Resolución 180928 de 2006, derogada por Resolución 40278 de 2017, y esta a su vez modificada por la Resolución 40302 de 2018 que rige las operaciones que involucran el suministro gas natural comprimido en el territorio nacional, y todas las posibilidades existentes para este fin, se iniciaron las operaciones de compresión, donde se logró cumplir con los reglamentos técnicos establecidos en dichas normas.

Aprobados los trabajos relacionados con los montajes eléctricos, mecánicos y neumáticos se ponen en funcionamiento los equipos donde se logró observar que el cumplimiento de este objetivo es satisfactorio para todas las partes, aumentando de esta manera de 6 unidades de módulos de transporte enviadas al día a 8 unidades, incrementando el volumen de gas comprimido distribuido en un 15%.

Mediante la instalación de una unidad compresora Aspro se dio solución al objetivo principal de este proyecto con lo cual se aumentó la capacidad en volumen de gas comprimido entregado por parte de la planta de Alcanos en Popayán, para abastecer los mencionados municipios de los departamentos del sur colombiano pasando de 30000 m³ día a 40000 m³ día.

Teniendo en cuenta que en los dos últimos años se ha visto un incremento de nuevos usuarios del servicio de gas natural, la planta de alcanos en Popayán pasó de un cubrimiento de 54% a 59,4%.

Aun así, no se deben dejar de lado los posibles inconvenientes que pueden afectar la operación y a su vez el rendimiento de entrega de la planta compresora; estos, involucran aspectos como:

Mal estado de las carreteras, clima, deslizamientos, averías de tipo mecánico que pueden presentar los vehículos que transportan el gas comprimido, fugas de gas en los módulos y fallas en los compresores. Aunque estos últimos se tuvieron en cuenta dentro de un esquema definido de mantenimientos preventivos y parámetros óptimos de funcionamiento precisamente para minimizar las paradas de estos y haciendo seguimiento al proceso de compresión y llenado para identificar posibles averías.

IX. RECOMENDACIONES.

Aspectos que pueden causar paradas en las operaciones de compresión y se deben tener en cuenta son, la red de gasoductos que transportan el gas natural hasta la zona específica donde se ubica

la planta compresora de Popayán, denominada cola de gasoducto por ser el último tramo de tuberías dispuestas para el transporte del combustible; debido a esto, no se garantiza todo el tiempo una presión óptima para la aspiración de los equipos de compresión.

El clima en la región afecta aspectos como la red de alimentación eléctrica, lo cual conlleva a alterar el orden de las operaciones.

Esto debido a que los equipos de compresión funcionan netamente con motores eléctricos, al presentarse fallas en las redes de alimentación externa, no se podrá comprimir.

Igualmente, este factor, afecta las vías por las que se transporta el gas comprimido, generando demoras en la distribución y a su vez afectando a los consumidores.

X. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dinamica 12th Edición – RUSSELL C. HIBBELER – Prentice Hall
- [2] Termodinamica 7th Edición – YUNUS A CENGEL – MICHAEL A BOLES – Mc Graw Hill
- [3] Mecanica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas 2th Edición – CLAUDIO MATAIX – Ediciones del Castillo SA
- [4] Manuales Compresores Ariel . Galileo JGM
- [5] Manuales Compresores IMW
- [6] Manuales Compresores Aspro
- [7] Mecanica de Fluidos – Cengel – Cimbala – Ebook – Mc Graw Hill
- [8] Mecanica de Fluidos – Cengel
- [9] Mecanica de Materiales – Beer 5th Edicion
- [10] Libro de Termodinamica – Cengel 7th Edicion - Español
- [11] Resolucion 40302 de abril de 2018
- [12] Resolucion 40278 de abril de 2017
- [13] Resolucion 180928 de junio de 2006

Cibergrafia:

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Energia%20y%20gas%20combustible/Gas%20natural/2019/Jul/2015evaluacionintegraldeprestadoresalcanosdecolombias.a.e.s.p.pdf/> Marco teorico sobre alcanos de Colombia creacion, operacion, cobertura y distribucion de gas natural / Consultado: octubre-2020

<https://www.minenergia.gov.co/normatividad?idNorma=47729/> Marco normativo por el que se rigen las estaciones de servicio que distribuyen combustibles / Consultado: marzo-2021

https://regimenjuridico.grupovanti.com/ver_leyes.php?id=255/ Marco normativo por el que se deroga resolucion 180928 de 2006, rige estaciones de servicio que distribuyen combustibles / Consultado: marzo-2021

https://www.minenergia.gov.co/documents/10180//23517//47729-res_40302_020418.pdf/ Marco normativo por el que se rigen las estaciones de servicio que distribuyen combustibles / Consultado: marzo-2021

<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/23517/37446-Resoluci%C3%B3n-40278-04Abr2017.pdf/> Marco normativo por el que se rigen las estaciones de servicio que distribuyen combustibles / Consultado: marzo-2021

<http://www.promigas.com/Es/Paginas/informeFinanciero/colombia/01.aspx/> líneas de distribución de gas natural en Colombia / Consultado: marzo-2021

[https://www.minenergia.gov.co/PDF/](https://www.minenergia.gov.co/PDF/Porcentajes%20de%20suscriptores%20por%20municipios%20en%20los%20departamentos%20de%20Cauca%20y%20Nari%C3%B1o.pdf/) Porcentajes de suscriptores por municipios en los departamentos de Cauca y Nariño / consultado: noviembre-2021

<https://concentra.co/consumo-y-suscriptores-por-departamento/> Mapa de cobertura de suscriptores de gas natural a nivel nacional / consultado: noviembre-2021

<https://www.grupovanti.com/conocenos/el-gas-natural/que-es/> Composicion del gas natural – consultado: noviembre de 2021.

<https://www.creg.gov.co/sectores-que-regulamos/gas-natural/historia-en-colombia> Historia del inicio del uso del gas natural en Colombia – consultado: noviembre de 2021