

## **Mejora del Desempeño Energético en Sistemas de Compresión Mediante Estrategias de Mantenimiento Proactivo y Configuraciones Avanzadas de Control**

Autores: Jonathan Steven Bareño Gonzalez,  
Jonny Alexander Lopez Orozco ,David Andres  
Castro

Empresa: Vanti E.S.P

Correo Electrónico: Jbareno@grupovanti.com

### **Resumen**

El caso de éxito de VANTI evidencia que la optimización energética puede lograrse sin recurrir a grandes inversiones en nuevas tecnologías, implementando estrategias inteligentes fundamentadas en mantenimiento proactivo y configuraciones avanzadas de control. Junto con una gestión técnica y analítica adecuada, maximizan tanto el impacto ambiental como financiero.

Estas estrategias, aplicadas en sistemas de compresión de gas vehicular, permitieron alcanzar resultados sobresalientes en términos de eficiencia y sostenibilidad.

Entre 2022 y 2024, se logró una eficiencia económica de \$8.585 MCOP, la reducción de 14.898 MWh en consumo energético y la disminución de 1.669 EqTonCO<sub>2</sub>, alineándose con los objetivos corporativos de sostenibilidad y eficiencia energética. Este enfoque demuestra que las configuraciones avanzadas de control, junto con una gestión técnica y analítica adecuada, maximizan tanto el impacto ambiental como financiero.

Los logros obtenidos posicionan a VANTI como un referente en el sector energético, estableciendo un modelo replicable para otras industrias que buscan optimizar recursos, mejorar su desempeño ambiental y fortalecer su impacto económico.

### **1. Introducción**

Teniendo en cuenta los objetivos de la transición energética del país, el panorama del sector eléctrico busca la implementación de nuevas estrategias que contribuyan a la eficiencia energética de los procesos industriales actuales y, de igual forma, a la descarbonización de todos los sectores productivos incluyendo el sistema de compresión del Gas Natural Vehicular Comprimido (GNVC) para el sistema masivo de transporte en Bogotá y estaciones públicas. Dentro de las oportunidades previstas para mejorar la eficiencia energética en el sector del GNVC, los sistemas de compresión representan un desafío crucial para reducir costos energéticos y cumplir con los compromisos ambientales corporativos.

Vanti ha establecido un modelo de suministro de Gas Natural Vehicular Comprimido (GNCV) en dos modalidades clave que destacan por su impacto y eficiencia operativa:

#### **Sistema de transporte masivo de Bogotá**

Con una infraestructura que es la más grande de su tipo en América Latina, Vanti opera 13 mega estaciones de compresión en paralelo, suministrando 9 millones de m<sup>3</sup> de GNCV mensuales a una flota de 2.800 buses, los cuales movilizan a 2,2 millones de usuarios diariamente. Este enfoque contribuye significativamente a mejorar las condiciones ambientales al reducir el uso de combustibles fósiles convencionales, disminuyendo la exposición a contaminantes derivados. Además, fomenta una movilidad limpia con bajas emisiones de CO<sub>2</sub>.

## **Red pública de estaciones de servicio**

La red pública, compuesta por 41 estaciones, suministra 4 millones de m<sup>3</sup> de GNCV mensuales que suministran a 11.100 vehículos livianos y de carga. Esto también mejora las condiciones ambientales, promoviendo el uso de una energía de bajas emisiones.

## **Detalles técnicos y consumo energético**

El sistema de compresión de Vanti incluye 82 unidades reciprocantes de 300 HP cada una, que incrementan la presión del gas de 175 PSI a 3.600 PSI. Este sistema de alta capacidad opera con un consumo energético de 0,20 kWh/m<sup>3</sup> histórico hasta el año 2022 de gas comprimido, lo que demanda un total de 1,8 MWh mensuales. El costo asociado a este consumo energético representa aproximadamente el 57% del OPEX del proceso, equivalente a \$1.300 MCOP.

La implementación de estas tecnologías permite a Vanti consolidar su posición como líder en soluciones energética sostenibles, promoviendo una movilidad limpia y eficiente. Desde 2022, Vanti ha implementado estrategias que han permitido reducir el OPEX energético, enfocadas en la eficiencia operativa y la reducción del impacto ambiental. Estas medidas han logrado disminuir el consumo eléctrico en un 36%, alcanzando un consumo específico actual de 0,163 kWh/m<sup>3</sup> a cierre de 2024, y reduciendo 1.930 eqCO<sub>2</sub> en el mismo periodo. Estas acciones demuestran cómo un enfoque holístico y de bajo costo puede generar beneficios financieros y ambientales.

## **2. Metodología**

La implicación de la estrategia de eficiencia energética fue desarrollada en 13 estaciones de compresión ubicadas en la ciudad de Bogotá y

41 Estaciones públicas, donde se estructuró en cuatro fases:

### **Fase 1. Diagnóstico inicial**

Se analizó el contexto operacional de los activos para comprender sus funciones e interacciones en el sistema de compresión de cada una de las estaciones. Las actividades realizadas incluyeron:

- a) Identificar las características físicas y funcionales de los sistemas de compresión en condiciones normales y en operaciones específicas relacionadas con el suministro de gas natural vehicular en cada estación de compresión.
- b) Evaluar de manera integral las condiciones operativas del sistema de compresión para identificar variables externas que impacten el desempeño de las unidades.
- c) Recopilar información histórica del rendimiento del activo, incluyendo métricas clave como eficiencia, disponibilidad y efectividad.
- d) Análisis y definición de criterios de riesgo considerando impacto operacional, integridad de activos, seguridad, cumplimiento normativo y reputación corporativa.
- e) Aplicación de la norma ISO 14224:2016 para priorizar componentes críticos de compresores mediante una matriz de criticidad basada en su impacto operacional.

## **Fase 2. Definición de estrategia**

### **mantenimiento proactivo**

- a) Se definieron y aplicaron estrategias enfocadas en maximizar la eficiencia operativa y reducir costos a través de las siguientes acciones específicas:
- Calibración de bancos de condensadores y adquisición de sistemas avanzados:
  - Implementación de filtros de compensación dinámica de energía reactiva.
  - Ajuste de rutinas preventivas para los sistemas eléctricos de potencia, incluyendo:
  - Pruebas de aislamiento y estado conductores
  - Análisis de calidad de energía.
  - Ajuste de controladores de pasos variables.
- b) Plan de mantenimiento predictivo:
- Aplicación de técnicas de termografía y análisis de vibraciones para evaluar:
  - Alineación del sistema de transmisión principal del compresor.
  - Tensión de correas en los motores de las unidades de compresión.
  - Identificación temprana de fallas potenciales para prevenir interrupciones operativas.

- c) Análisis y ajuste en curvas de arranque:

- Optimización de los arrancadores suaves de los motores acorde a las necesidades operativas propias de las estaciones.
- Ajustes específicos en las curvas de arranque para garantizar un alto desempeño en los ciclos de compresión, alineados con el flujo de demanda operativa.

## **Fase 3. implementación de configuraciones**

### **avanzadas de control, regulación de gas y**

### **seguimiento mediante telemetría**

- Monitoreo remoto y seguimiento de variables operativas (demanda de flujo, Temperatura, Presión y consumo eléctrico).
- Establecer el funcionamiento del sistema de compresión acorde a la demanda operativa diaria para realizar configuraciones en la lógica de los controladores (PLC) de operaciones parciales del sistema en franjas horarias para la reducción energética.
- Verificación y aumento de presiones de succión para mejorar el rendimiento de las unidades de compresión (m<sup>3</sup>/h).
- Implementación de configuraciones avanzadas de control de on/off a control térmico a demanda para reducir el consumo energético de los motores auxiliares de refrigeración. “Modo Eco”

## **Fase 4. Estandarización, seguimiento y**

### **control de KPIs**

Estandarización y el monitoreo continuo de indicadores clave de desempeño (KPIs) fueron esenciales para medir y asegurar el éxito del proyecto. Se definieron metas claras y se implementaron estrategias que impactaron positivamente la eficiencia operativa y financiera.

#### **• Indicadores claves utilizados**

1. Eficiencia de compresión ( $m^3/h$ ): Capacidad volumétrica de las unidades.
2. Consumo energético específico: Energía activa ( $kWh/m^3$ ) y reactiva ( $kVARh/m^3$ ).
3. Costo energético de compresión ( $\$/m^3$ ): Relación entre consumo y costos.
4. Reducción de emisiones de  $CO_2$ : Basado en el método del Factor UPME y MWh optimizados.

#### **• Definición de objetivos**

1. Eficiencia de compresión: De  $1.650 m^3/h$  (fabricante) a  $1.814 m^3/h$ .
2. Consumo energético: Reducción de  $0,22 kWh/m^3$  a  $0,163 kWh/m^3$ .
3. Control de energía reactiva: No superar el 50% respecto de la energía activa
4. Costo energético: Reducción de  $102 \$/m^3$  a  $98,9 \$/m^3$ .

## **3. Desarrollo del proyecto**

El modelo de mantenimiento y diagnóstico inicial de Vanti utilizó las normas SAE JA1011 y JA1012, enfocadas en el mantenimiento basado en confiabilidad, destacando la importancia de comprender el contexto operacional para diseñar estrategias de seguridad y optimización de recursos. Además, se implementaron las normas ISO 55000, 31000 y 14224 para la gestión de activos, riesgos y recopilación de datos en el sector Oil & Gas.

El enfoque centrado en confiabilidad y eficiencia parte de optimizar la infraestructura existente, ya que el mantenimiento prescrito por los fabricantes puede ser ineficiente para las operaciones reales. Por ello, se definieron estrategias de mantenimiento proactivo como:

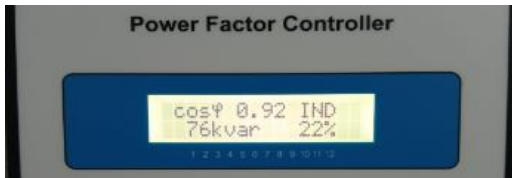
- Rutinas predictivas.
  - Ajustes operativos.
  - Monitoreo remoto.
  - Configuraciones avanzadas de control.
- a) Rutinas de vibraciones, análisis calidad de energía y termografía los cuales se realizan cada 4 meses en cada unidad compresora y sistemas eléctricos ayudando a identificar indicios de fallo y evitando llegar a la falla funcional respecto a la curva P.F “periodo de falla”. además de una lubricación adecuada a los rodamientos de los motores y alineación del conjunto correa y polea
  - b) Vanti implementó una estrategia integral de mantenimiento para optimizar el funcionamiento de los bancos de condensadores, manteniendo el consumo de energía reactiva por debajo del 50% de la potencia activa y evitando penalizaciones. Esta estrategia incluye rutinas de mantenimiento predictivo, con monitoreo de parámetros

clave como el rendimiento de los pasos fijos y variables, y el estado de las botellas de condensadores. Herramientas como termografía, medición de aislamiento y análisis de calidad de energía permiten identificar y corregir oportunamente factores de potencia bajos que generan ineficiencia.

- c) Se implementaron indicadores de seguimiento para evaluar constantemente el desempeño de los bancos de condensadores, ajustando los parámetros operativos en tiempo real de acuerdo con las variaciones en la dinámica de las estaciones de gas natural vehicular. Esto asegura que los sistemas se mantienen dentro de los límites establecidos por la regulación



**Higo. 1.** Banco de condensadores, contactores fijos y variables.



**Fig. 2.** Control banco de condensadores.

- d) Vanti optimiza el desempeño energético ajustando parámetros de los arrancadores suaves e incrementando la presión de succión, reduciendo picos de corriente y mejorando la eficiencia. Se realizan rutinas semestrales para verificar el sistema y garantizar el cumplimiento de la parametrización estándar.

TABLA I

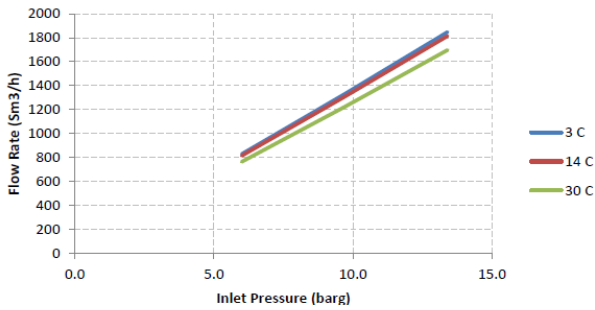
PARÁMETROS OPERACIONALES  
"ARRANCADOR SUAVE"

| SOFT STARTER SIEMENS SETTINGS                                 | Settings Vanti |
|---|----------------|
| Parameter set 1 / Juego de parametro 1                        | Motor 300 HP   |
| <b>Motor 1</b>  |                |
| Rated operating current / Corriente asignada de empleo        | 334 A          |
| Rated operating torque / par asignado                         | 502 Nm         |
| Rated operating speed / velocidad asignada                    | 1780 rpm       |
| <b>Starting settings / Ajuste de arranque</b>                 |                |
| Start voltage / Tension de arranque                           | 55%            |
| Starting time / Tiempo de arranque                            | 10s            |
| Maximum starting time / Tiempo de arranque maximo             | 17s            |
| Current limiting value / valor limite de Intensidad           | 500%           |
| Break away voltage / Tiempo de despegue                       | 40%            |
| <b>Slow speed parameters / Parametro: velocidad lenta</b>     |                |
| Slow speed factor right / Factor de velocidad lenta. Derecha  | 7              |
| Slow speed torque right / Par velocidad lenta. derecha        | 50%            |
| Slow speed factor left / Factor de velocidad lenta. Izquierda | 7              |
| Slow speed torque left / Par velocidad lenta. Izquierda       | 50%            |
| <b>Current limit values / Limites de corriente</b>            |                |
| Minimum current limit / Limite inferior de corriente          | 19%            |
| Maximum current limit / Limite superior de corriente          | 113%           |

**TABLA II**  
**DESEMPEÑO OPERACIONAL**  
**COMPRESORES VANTI**

| Performance                |                        |       |       |                      |       |       |                       |       |       |
|----------------------------|------------------------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-------|-------|
| Scenario                   | 99.6% HCB Ambient Temp |       |       | Average Ambient Temp |       |       | 50yr Max Ambient Temp |       |       |
|                            | 1                      | 2     | 3     | 4                    | 5     | 6     | 7                     | 8     | 9     |
| Pipeline Pressure (barg)   | 6.0                    | 9.7   | 13.4  | 6.0                  | 9.7   | 13.4  | 6.0                   | 9.7   | 13.4  |
| Skid Inlet Pressure (barg) | 6.0                    | 9.7   | 13.4  | 6.0                  | 9.7   | 13.4  | 6.0                   | 9.7   | 13.4  |
| Ambient Temperature (°C)   | 3                      | 3     | 3     | 14                   | 14    | 14    | 30                    | 30    | 30    |
| Inlet Gas Temp. (°C)       | 8                      | 8     | 8     | 9                    | 9     | 9     | 25                    | 25    | 25    |
| Outlet Pressure (barg)     | 250                    |       |       |                      |       |       |                       |       |       |
| Elevation (m)              | 2548                   |       |       |                      |       |       |                       |       |       |
| Compressor Flow (Sm3/h)    | 827                    | 1,329 | 1,847 | 813                  | 1,306 | 1,814 | 763                   | 1,222 | 1,697 |
| Site Flow (Sm3/h)          | 827                    | 1,329 | 1,847 | 813                  | 1,306 | 1,814 | 763                   | 1,222 | 1,697 |

En la siguiente gráfica se detalla la eficiencia en compresión obtenida de 1.650 m<sup>3</sup>/h (fabricante) a 1.814 m<sup>3</sup>/h, luego de aumentar la presión de succión en la estación de regulación (ERM).



**Higo. 2.** Caudal de salida respecto a presión de succión.

Vanti implementó una solución de adquisición de datos que garantiza un balance de gas con una desviación menor al ±1% y un consumo energético máximo de 0,163 kWh/m<sup>3</sup>. Usando Microsoft Forms y Power Automate, el sistema procesa datos en campo y los presenta en una interfaz gráfica intuitiva, facilitando decisiones rápidas y fundamentadas para mejorar la eficiencia operativa y el control de indicadores clave.

$$Dif Kwh = \frac{(Kwh actual - Kwh anterior)}{\text{Factor de potencia FX}}$$

$$Kw/m3 = \frac{\text{Volumen de gas suministrado}}{Dif Kwh}$$

A continuación, se detallan los datos registrados para la adquisición de variables, almacenamiento y modelados automáticos.

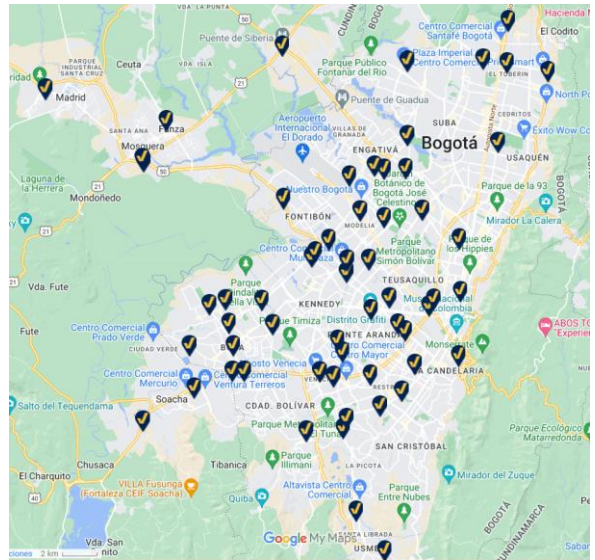
|  |                   |                                |         |
|--|-------------------|--------------------------------|---------|
| Título:<br>Formato de Reporte de Balance Diario de Patio Temporal 80 |                   |                                | vanti ✓ |
| Código:<br>R-BLD109  | Versión:<br>V2.04 | Fecha:<br>15 de abril del 2024 |         |

Fecha: 1/3/2025  
 Correo de Supervisor: aclopezv@grupovanti.com  
 Nombre de Verificador: Esneider Finot  
 Compañía de Verificador: IMW  
 Estado de Balance: Approve

- 1. Balance**
- ID de Registro: BLD109-20250102
  - Balance Corregido: 0.335%
  - Balance Medidor Mecánico: 5.259%
  - Diferencia de Balance [m3]: 49.95
  - Consumo por volumen [kWh/m3]: 7.810
  - Porcentaje de Corriente Reactiva: 0.93%
  - Observación de Inspección: Validado, en verificación de digitación de consumos de corriente

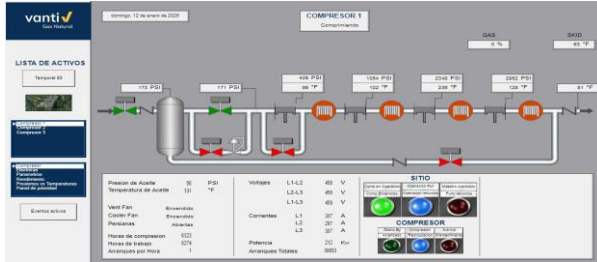
**Fig. 4.** Formato automatizado de balances registrados.

a) Vanti implementó un sistema de monitoreo remoto en colaboración con el fabricante, permitiendo detección temprana de fallos y mantenimiento basado en condición. Esto extiende las rutinas del fabricante, optimiza la eficiencia operativa y reduce costos. Monitorea 24/7 desde el centro de control, capturando datos en tiempo real como temperatura, presión y consumo energético. Remoto:



**Fig. 5.** Distribución Estaciones GNCV, públicas y masivo Bogotá.

Las estaciones de Vanti están monitoreadas en tiempo real desde nuestro centro de control en Bogotá las 24 horas del día los 365 días del año, una confiabilidad operacional situada en el 89,9% y disponibilidad del 99,7%.



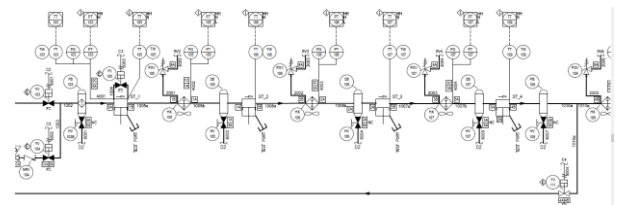
**Higo. 3.** Monitoreo de variables y estados operaciones de unidades de compresión

b) Implementación de configuraciones avanzadas de control de control dinámico por temperatura “Modo Eco”: cada unidad de compresión está equipada con un paquete de refrigeración compuesto por dos moto-ventiladores de 7.5 HP. Estos equipos, en su configuración original de fábrica, operaban de manera permanente mediante un sistema temporizado, con el objetivo de controlar las temperaturas de las etapas de compresión y preservar la integridad de los componentes blandos de las cámaras de compresión acorde a sus especificaciones operativas para Bogotá.

En abril de 2024, Vanti implementó el "Modo Eco", una solución personalizada que optimiza la operación de los moto-ventiladores mediante control térmico basado en transmisores de temperatura (TT) instalados en cada etapa de compresión. El PLC reconfigurado habilita o deshabilita los moto-ventiladores según las necesidades térmicas:

Modo recirculación: Se desactiva un moto-ventilador, reduciendo el consumo energético.

Modo compresión: Los moto-ventiladores operan solo cuando las temperaturas exceden los rangos de seguridad configurados en los puntos de ajustes, apagándose automáticamente al retornar a rangos seguros. reduciendo el consumo energético mediante control dinámico por temperatura.



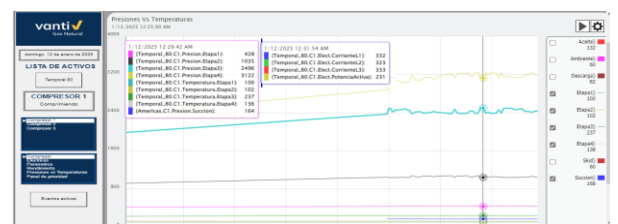
**Fig. 8.** Plano P&ID etapas de compresión.

En la siguiente gráfica se detalla el monitoreo remoto de los parámetros operacionales los cuales son registrados y almacenados.

| Compressor Conditions                |                  |      |                  |
|--------------------------------------|------------------|------|------------------|
|                                      | Min <sup>1</sup> | Avg  | Max <sup>2</sup> |
| Pipeline Pressure (barg)             | 6.0              | 9.7  | 13.4             |
| Skid Inlet Pressure (barg)           | 6.0              | 9.7  | 13.4             |
| Ambient Temperature (°C)             | 3                | 14   | 30               |
| Outlet Pressure (barg)               |                  | 250  |                  |
| Elevation (m)                        |                  | 2548 |                  |
| Compressors on Site                  |                  | 1    |                  |
| 0.4% MCDB Amb Temp (°C) <sup>3</sup> |                  | 21   |                  |

**Fig. 7.** Condiciones operacionales unidades compresoras.

Además, es fundamental cumplir con la normativa colombiana (Resolución 40278 de 2017), que exige entregar el gas combustible a una temperatura máxima de 18 °C en la etapa de distribución final.



**Higo. 4.** Monitoreo remoto de parámetros operacionales.

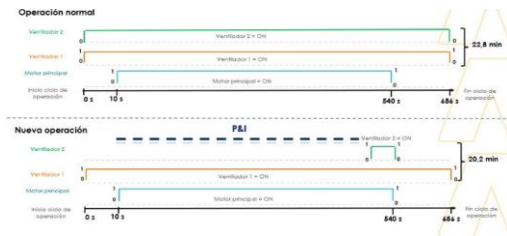


Respecto a la curva Pf (período de falla) y los límites operacionales el ventilador se acciona en función del porcentaje de seguridad antes de llegar a la advertencia por alta temperatura el cual corresponde al 15%.

| Set Point °F Temperaturas     | Set Point PSI Presiones |
|-------------------------------|-------------------------|
| Etapa 1. shutdown 325 Adv 250 | Etapa 1. 518 PSI.       |
| Etapa 2. shutdown 325 Adv 280 | Etapa 2. 1260 PSI .     |
| Etapa 3. shutdown 350 Adv 280 | Etapa 3. 3118 PSI.      |
| Etapa 4. shutdown 350 Adv 275 | Etapa 4. 3800 PSI.      |

**Fig. 10.** Configuración de parámetros de advertencias y alarmas de seguridad.

El modo Eco modifica la operación de uno de los ventiladores siendo este ligado a la instrumentación y operando como se muestra en la figura 11.



**Fig. 11.** Operación on - off moto ventiladores.



**Fig. 12.** Moto ventiladores unidad de compresor.

#### 4. Análisis de riesgo

El análisis de riesgos llevado a cabo en este proyecto se centra en garantizar la sostenibilidad operativa y la integridad de los activos, con énfasis en la aplicación de buenas prácticas de mantenimiento para prolongar la vida útil de los sistemas de compresión y optimizar su desempeño mediante las

configuraciones avanzadas de control. A continuación, se detallan los principales aspectos considerados:

#### 1. Identificación de riesgos clave:

- Desgaste en componentes críticos: rodamientos, sistemas de compresión y eléctricos.
- Variaciones térmicas y de presión en etapas de compresión, afectando el funcionamiento del compresor.
- Penalizaciones por consumo excesivo de energía reactiva en bancos de condensadores.
- Desconfiguración en los sistemas de control y de potencia

#### 2. Mitigación y buenas prácticas:

- Análisis de criticidad e implementación de acciones preventivas en ítems mantenibles.
- Uso de rutinas predictivas: termografía, análisis de vibraciones y calidad de energía.
- Personalización de parámetros en arrancadores suaves para reducir picos de corriente.
- Activación del "Modo Eco" en refrigeración, ajustando moto-ventiladores según necesidades térmica

#### 3. Impacto en la vida útil de los activos:

- Las estrategias reducen costos operativos y prolongan la vida útil de los equipos al minimizar el estrés mecánico y térmico.



- Se asegura que las operaciones cumplan con las normativas regulatorias, mejorando la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas.

### 5. Resultados y análisis

Con el desarrollo del proyecto, uno de los resultados a resaltar fue la disminución del consumo energético junto con la reducción de Ton CO2 emitidas por actividad, tal como se muestra en la tabla 3.

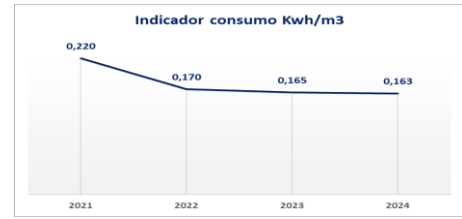
Las acciones implementadas resultaron en:

**TABLA III  
CONSOLIDADO ANUALES  
ESTRATEGIAS IMPLEMENTADAS**

| Criterio                         | 2021   | 2022     | 2023     | 2024     | Total    |
|----------------------------------|--------|----------|----------|----------|----------|
| Mm3 Gas natural vehicular        | 80.571 | 103.006  | 117.183  | 98.902   | 399.662  |
| Eficiencia de consumo energético |        |          |          |          |          |
| Mwh delta ahorro                 |        | 5.150    | 6.445    | 5.637    | 17.233   |
| Ahorro energetico \$MCOP         | \$ -   | \$ 3.008 | \$ 3.699 | \$ 3.205 | \$ 9.912 |
| Reducción Emision GEI            | -      | 577      | 722      | 631      | 1.930    |

Estas acciones permitieron optimizar recursos, garantizar el cumplimiento de los objetivos operativos y establecer una base sólida para la sostenibilidad financiera y ambiental.

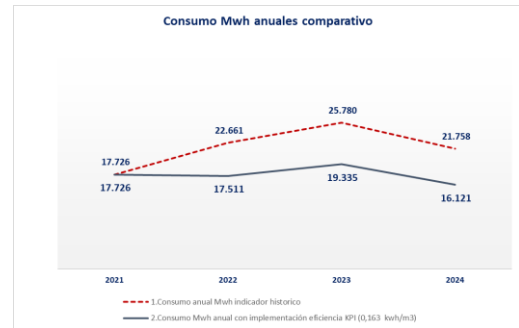
- Disponibilidad operativa = (Horas Disponibles - Horas de Parada) / Horas Disponibles  
Disponibilidad Operativa = (200,088 - 453) / (200,088)  
**Disponibilidad ≈ 99,74%**
- Confiabilidad ≈ (1 - Tasa de Fallos) ^ (# Eventos):  
Confiabilidad ≈ (0.99930651209) ^  
**Confiabilidad ≈ 89.99%**
- Con la implementación del proyecto se obtuvo una reducción:  
**-25.09% ≈ (-0,06Kwh/m3).**



**Fig. 13.** Reducción de indicador de consumo eléctrico/m3 comprimido.

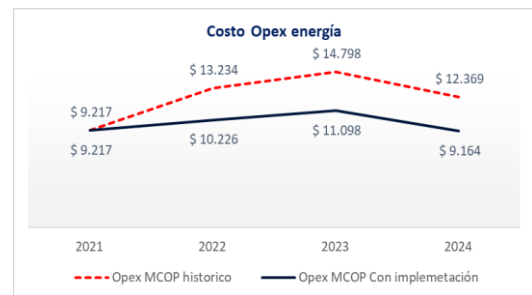
En las siguientes figuras, 14, 15 y 16 la línea punteada representa el consumo histórico que se hubiera obtenido sin la implementación de las estrategias planteadas.

- Reducción de energía Mwh consumida:  
**-22% ≈ - 17.233 Mwh**



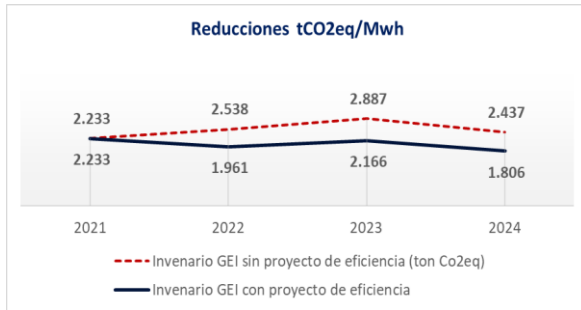
**Fig. 14.** Reducción energética Mwh

- Reducción costo de energía Opex  
**-32% ≈ -17,233\$MCOP**



**Fig. 15.** Reducción impacto Opex energía

- Impacto ambiental: **-1.930 tCO<sub>2</sub>eq/Mwh**



**Fig. 16.** Consolidado Huella de carbono

## 6. Discusión

Los resultados de este proyecto destacan la integración de estrategias de mantenimiento proactivo con tecnologías de control avanzado, logrando niveles de eficiencia energética superiores a los previstos por los fabricantes. Indicadores clave de rendimiento (KPI) y telemetría permitieron ajustes en tiempo real, maximizando la eficiencia y reduciendo el impacto ambiental.

La metodología aplicada, basada en normas ISO 14224, 55000 y 31000, es replicable en otros sectores, adaptando objetivos y condiciones específicas. Este enfoque resalta la importancia de priorizar la sostenibilidad y la confiabilidad en la gestión de activos industriales, claves para el éxito a largo plazo

## 7. Conclusiones y recomendaciones

### Impacto en la eficiencia energética y sostenibilidad ambiental

La implementación de estrategias de mantenimiento prescriptivo y configuraciones avanzadas de control permitió reducir el consumo energético específico (-22,09%) y mitigar 1.930 EqCO<sub>2</sub> en el periodo de 2022 a 2024. Estas acciones no solo refuerzan el compromiso ambiental de Vanti, sino que también generan un impacto financiero positivo al reducir el OPEX de energía en un -32%.

### Replicabilidad en otros sectores

Los resultados obtenidos en este proyecto son aplicables a otros activos industriales, siempre que se definan estrategias claras y se adapten las metodologías a las necesidades específicas de cada operación.

### Importancia de la gestión de activos

La aplicación de normas como ISO 55000, ISO 31000 e ISO 14224 establece un marco robusto para decisiones informadas, priorización de recursos y maximización del ciclo de vida de los activos, promoviendo estrategias sostenibles y rentables.

### Recomendación para futuras implementaciones

Se recomienda adoptar tecnologías como inteligencia artificial y monitoreo en la nube para fortalecer el mantenimiento prescriptivo y mejorar el desempeño energético. Capacitar al personal y divulgar casos de éxito permitirá replicar este enfoque en sistemas similares, asegurando sostenibilidad y eficiencia mediante monitoreo continuo.

## Referencias

[1] A. Smith, Gestión de Activos Industriales: Estrategias y Metodologías para la Optimización, Bogotá, Editorial Energética, 2020, capítulo 3, pp. 45-78.

[2] J. Pérez y M. Rodríguez, “Análisis de Eficiencia Energética en Sistemas de Compresión,” Revista de Ingeniería Energética, vol. 15, pp. 65-89, junio 2023.

[3] ISO 14224:2016, Industrias del petróleo, petroquímica y gas natural: recopilación e intercambio de datos de fiabilidad y mantenimiento de equipos. Organización Internacional de Normalización, 2016.

[4] ISO 55000:2014, Gestión de activos - Visión general, principios y terminología. Organización Internacional de Normalización, 2014.

[5] ISO 31000:2018, Gestión de riesgos - Directrices. Organización Internacional de Normalización, 2018.

## Hoja de vida

### • **Jonathan Steven Bareño González**

Ingeniero mecatrónico, Especialista en gerencia de mantenimiento y regulación y eficiencia energéticas de energías renovables, Profesional con más de 10 años de experiencia liderando operaciones de mantenimiento y proyectos estratégicos en infraestructuras críticas de compresión, transporte y distribución de gas, y generación eléctrica. Experto en optimización de recursos, implementación de tecnologías avanzadas de control y reducción de costos operativos y emisiones de CO<sub>2</sub>, con enfoque en sostenibilidad empresarial y eficiencia operativa.

### • **Jonny Alexander Lopez Orozco**

Ingeniero Mecatrónico Especialista en Gerencia de Mantenimiento, Profesional con 8 años de experiencia en diferentes sectores del mantenimiento industriales como inyección y

soplado de PET, automotores y sistemas de compresión de gas natural vehicular, mantenimiento de maquinaria y puesta a punto.

### • **David Andrés Castro Torres**

Ingeniero Mecánico, Profesional con más de 10 años de experiencia en la gestión y liderazgo de equipos de mantenimiento, así como en la ejecución de proyectos estratégicos en sistemas de compresión. Experto en sistemas de compresión de gas natural vehicular (GNV), mantenimiento de maquinaria crítica y procesos de puesta a punto para garantizar la eficiencia operativa.

1. Nombre del autor: Jonathan Steven Bareño Gonzalez, Jonny Alexander Lopez Orozco, David Andres Castro Torres.
2. Teléfono: 3173657801-3168730434
3. Residencia: Bogotá
4. Oficina: Cra 100 No. 25D-61 Fontibón
5. Dirección del autor: Calle 19 # 96 B 24 Edificio Toscana, Bogotá
6. Ciudad: Bogotá
7. País: Colombia