

MANUAL DE OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA
SABANA

DAVID RICARDO TORRA RODRIGUEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA
2017

MANUAL DE OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA
SABANA

DAVID RICARDO TORRA RODRIGUEZ

TRABAJO DE MONOGRAFIA PARA OBTAR AL TITULO DE ESPECIALISTA EN
INGENIERIA DEL GAS

DIRECTOR
MANUEL ENRIQUE CABARCAS SIMANCAS
Magister en Ingeniería Química.

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERIA DEL GAS
BUCARAMANGA
2017

A Dios... por la vida y la oportunidad de cumplir mis metas y propósitos...
A Samuel David y Karina del Mar... mi amor, fortaleza, inspiración y el mayor
motivo para seguir adelante siempre...
A mis padres, abuelos y hermanos por su apoyo incondicional...

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por su apoyo incondicional en todo momento.

A la Universidad Industrial de Santander y la Escuela de Ingeniería de Petróleos por permitirme ampliar y fortalecer mis conocimientos.

A la Transportadora de Gas Internacional TGI S.A. ESP por facilitarme lo necesario para el desarrollo de la presente monografía...

A todos mis más sinceros agradecimientos...

CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCION.-----	15
1. INFORMACION GENERAL. -----	19
1.1 OBJETIVOS DEL PROYECTO. -----	19
1.1.1 Objetivo general. -----	19
1.1.2 Objetivos especificos.-----	19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. -----	19
1.3 ALCANCE.-----	20
1.4 JUSTIFICACION. -----	20
2. GENERALIDADES DE LA ESTACION DE COMPRESION DE LA SABANA.-----	21
2.1 ASPECTOS DE SEGURIDAD.-----	23
2.2 ASPECTOS AMBIENTALES.-----	23
3. DESCRIPCION DEL PROCESO. -----	25
3.1 SISTEMA DE RECIBO DE GAS. -----	27
3.2 SISTEMA DE FILTRACION DE SUCCION. -----	29
3.3 SISTEMA DE COMPRESION DE GAS. -----	32
3.3.1 Compresores. -----	35
3.3.2 Motor de accionamiento. -----	36
3.3.3 Cojinetes magneticos. -----	37
3.3.3.1 Descripcion del sistema de cojinetes magneticos.-----	37

3.3.4	Sistema antisurge. -----	41
3.3.5	Sistema de gas refrigerante. -----	42
3.3.6	Variadores de frecuencia (vfd).-----	44
3.3.7	UCP (Tablero de control unidades de compresión).-----	49
3.4	SISTEMA DE DESPACHO DE GAS. -----	50
3.5	SISTEMA DE BLOWDOWN Y VENDEO. -----	52
3.6	SISTEMA DE MEDICION DE GAS.-----	53
3.7	SISTEMA DE FIRE & GAS-----	55
3.8	SISTEMAS DE CONTROL (DCS) Y DE EMERGENCIA (ESD)-----	62
3.9	SISTEMA ELECTRICO.-----	65
3.9.1	Sistema de proteccion y medicion. -----	65
3.9.2	Sistema de distribucion. -----	67
3.9.3	Sistema ininterrumpido de potencia (UPS).-----	70
3.9.4	Sistema de respaldo electrico (generador electrico)-----	72
3.9.5	Sistema de puesta a tierra y proteccion catodica -----	73
3.10	SISTEMAS AUXILIARES. -----	74
3.10.1	Sistema de aire comprimido.-----	74
3.10.2	Sistema de ventilacion forzada. -----	77
3.10.3	Sistema de levantamiento de cargas. -----	79
3.10.4	Sistema de recoleccion de condensados y drenajes cerrados -----	80
3.10.5	Sistema de aire acondicionado (HVAC).-----	82
3.10.6	Sistemas de aguas potable e industrial. -----	82
3.10.7	Sistema de aguas lluvia -----	83

3.10.8	Sistema de aguas aceitosas -----	84
4.	FILOSOFIA DE OPERACIÓN DE LA ESTACION DE COMPRESION DE GAS DE LA SABANA. -----	85
4.1	PUESTA EN MARCHA. -----	87
4.2	OPERACIÓN CONTINUADA. -----	95
4.3	PARADA NORMAL. -----	97
4.4	PARADA DE EMERGENCIA Y RE-ARRANQUE. -----	98
4.5	OPERACIÓN REMOTA. -----	102
5.	CONCLUSIONES. -----	104
	BIBLIOGRAFIA. -----	105

INDICE DE FIGURAS.

	Pág.
Figura 1. Estación de Compresión de Gas La Sabana. -----	26
Figura 2. Manifold de válvulas de corte bunker ECGSB. -----	27
Figura 3. Bypass principal ECGSB.-----	27
Figura 4. Válvulas SDV-003, SDV-004 y BA-007 ECGSB.-----	28
Figura 5. Filtro de succión ECGSB.-----	30
Figura 6. Transmisor de Presión diferencial PDZIT-012 ECGSB. -----	31
Figura 7. Sistema de drenaje líquidos condensados SB-HFS-001. ECGSB.-----	32
Figura 8. Unidad de compresión de gas ECGSB.-----	33
Figura 9. Disposición componentes unidad de máquinas ECGSB. -----	34
Figura 10. Componentes unidad de compresión (MOPICO) ECGSB. -----	35
Figura 11. Esquema cojinetes magnéticos radiales. -----	38
Figura 12. Esquema cojinetes axiales.-----	38
Figura 13. Esquema sistema de control electrónico cojinetes magnéticos.-----	39
Figura 14. Válvula de recirculación (Antisurge) ECGSB. -----	42
Figura 15. Filtro de gas refrigerante unidades de compresión ECGSB. -----	43
Figura 16. Válvula reciclo gas refrigerante unidades de compresión ECGSB.-----	43
Figura 17. Variador de frecuencia (VFD) ECGSB.-----	44
Figura 18. Diagrama de bloques típico del VFD – ASC5000.-----	45
Figura 19. Principio de la topología multinivel (9 niveles). -----	45
Figura 20. Principio de funcionamiento DTC. -----	46

Figura 21. IGCT - Tiristores conmutadores de compuerta integrada. -----	47
Figura 22. Unidad de enfriamiento del agua VFD ECGSB. -----	48
Figura 23. Fin Fan Cooler VFD ECGSB. -----	48
Figura 24. UCP - Tablero de control unidades de compresión. -----	49
Figura 25. Válvulas SDV-707, SDV-708 y BA-050 ECGSB. -----	51
Figura 26. Válvula de Blowdown BDV-704 (Sistema de succión) ECGSB-----	52
Figura 27. Venteo atmosférico SB-VT-01. ECGSB-----	53
Figura 28. Medidor de flujo FIT-240 línea de descarga. ECGSB -----	54
Figura 29. Medidor de flujo FIT-722 línea de venteo. ECGSB-----	55
Figura 30. Detector de gas metano SB-NG-04 ECGSB.-----	57
Figura 31. Detector de fuego SB-FD-03 ECGSB.-----	58
Figura 32. Detector de Hidrogeno ECGSB.-----	58
Figura 33. Detectores térmicos ECGSB. (Izq., puntual. Der. Lineal) -----	59
Figura 34. Detector de humo SB-CMK-21 ECGSB. -----	60
Figura 35. Estaciones manuales de activación ECGSB. (Izq., MAC. Der. EMA)--	61
Figura 36. Alarmas ECGSB. (Izq., sonoras. Centro, visuales. Der., audiovisuales)-----	61
Figura 37. Tableros sistemas de control ECGSB (Izq. DCS. Der. ESD)-----	63
Figura 38. Switchgear ECGSB. -----	66
Figura 39. Transformador de voltaje multidevanado SB-TR-101 ECGSB.-----	67
Figura 40. Tablero de distribución 480v CCM, ECGSB. -----	69
Figura 41. Tablero distribución 208 V y Transferencia Eléctrica CCM, ECGSB. --	70
Figura 42. Sistema ininterrumpido de potencia UPS, ECGSB.-----	70

Figura 43. Rack de baterías UPS´s, ECGSB.	71
Figura 44. Tablero de cargas reguladas SB-TCR-01, ECGSB.	72
Figura 45. Generador eléctrico SB-GE-01, ECGSB.	73
Figura 46. Estación de medición protección catódica ECGSB.	74
Figura 47. Skid sistema de compresores de aire ECGSB.	75
Figura 48. Tk. Pulmón aire comprimido SB-V-04, ECGSB.	76
Figura 49. Funcionamiento sistema de ventilación forzada, ECGSB.	78
Figura 50. Sistema de ventilación forzada (Izq. Filtros y atenuador; Der. Ventilador), ECGSB.	79
Figura 51. Puente grúa, ECGSB.	80
Figura 52. Vasija de recolección de condensados SB-V-03, ECGSB.	80
Figura 53. Izq., Bomba SB-P-01. Der. Facilidades de recolección, pulsador HS-049 y pinza de puesta a tierra, ECGSB.	81
Figura 54. Sistema Hidroflo ECGSB.	83
Figura 55. Cárcamos de recolección de derrames zona de cargue condensados ECGSB.	84
Figura 56. Válvula de corte drenajes dique vasija SB-V-03, ECGSB.	84
Figura 57. Ubicación comando “Alinear estación” HMI DSC ECGSB.	87
Figura 58. Diagrama lógico de operación unidades MOPICO ECGSB.	92
Figura 59. Comandos operacionales compresor 1 HMI DSC ECGSB.	93
Figura 60. Faceplate ajuste de Setpoint por flujo o presión compresores ECGSB.	94

INDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1. Condiciones ambientales ECGSB. -----	21
Tabla 2. Cromatografía gas Cusiana y Gas Ballena (Guajira) ECGSB -----	22
Tabla 3. Criterios operativos ECGSB.-----	26
Tabla 4. Datos operativos SB-HFS-001, ECGSB. -----	29
Tabla 5. Detectores de gas metano instalados en la ECGSB. -----	56
Tabla 6. Detectores de llama infrarrojos instalados en la ECGSB.-----	57
Tabla 7. Detector de Hidrogeno instalado en la ECGSB. -----	58
Tabla 8. Detectores térmicos instalados en la ECGSB. -----	59
Tabla 9. Detectores de humo instalados en la ECGSB.-----	59
Tabla 10. Estaciones manuales de activación instaladas en la ECGSB. -----	60
Tabla 11. Alarmas sonoras, visuales y audiovisuales instaladas en la ECGSB. --	61
Tabla 12. Setting control de temperatura SB-TR-101 y SB-TR-301 ECGSB-----	68
Tabla 13. Descripción de pasos secuenciales de operación unidades de compresión MOPICO ECGSB.-----	90
Tabla 14. Descripción de ventanas operativas de instrumentación de campo ECGSB. -----	95
Tabla 15. Eventos que generan SD o SD+BD asociados al sistema de F&G ECGSB. -----	98

Tabla 16. Settings de alarma, PSD y DPSD variables operativas UCP unidades de
compresión. -----100

DEFINICIONES.

ECGSB: Estación de compresión de gas La Sabana.

DCS: Sistema de control distribuido. (Distribution Control System).

ESD: Sistema de emergencia. (Emergency Shutdown).

Sistema F&G: Sistema de Fuego y Gas (Fire & Gas System).

HMI: Interfaz Hombre – Máquina. (Human-Machine Interface).

MAN D&T: Man Diesel & Turbo. Proveedor de los trenes de compresión.

MOPICO: Motor Pipeline Compressor. Compresor para tubería accionado por motor eléctrico.

CPC: Cuarto principal de control de TGI S.A. ESP.

UCP: Unidad panel de control (Unit Control Panel) (Turbocompresores).

MSNM: Metros sobre el nivel del mar.

SCADA: Sistema de supervisión, control y adquisición de datos.

MMSCFD: Millones de pies cúbicos día.

TGI S.A. ESP: Transportadora de Gas Internacional S.A. ESP.

RUT: Reglamento Único de Transporte.

AMB: Automatic Magnetic Bearing. (Cojinetes Magnéticos Automaticos)

LL: Low-Low Limit (Limite Bajo-Bajo).

L: Low Limit (limite Bajo).

H: High Limit (limite alto).

HH: High-High Limit (limite alto alto)

RESUMEN.

TITULO: MANUAL DE OPERACIÓN DE LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS DE LA SABANA.*

AUTOR: DAVID RICARDO TORRA RODRÍGUEZ.**

PALABRAS CLAVE: OPERACIÓN, ESTACION DE COMPRESION, MANUAL, MOPICO, OPERACIÓN REMOTA, CENTRO PRINCIPAL DE CONTROL.

El presente manual de operación se elabora con el propósito de brindar a los operadores tanto de sala de control, como de campo, una guía básica acerca de los procedimientos propios necesarios para la correcta operación de la estación de compresión de gas La Sabana.

Se realiza una descripción de los procesos que permiten la operación de la estación de compresión, teniendo en cuenta el tipo de tecnología que utiliza y los criterios básicos de diseño con la cual fue construida la estación de compresión. Se hace un análisis básico acerca de las principales condiciones de seguridad que se deben tener en cuenta para ejecutar una apropiada operación, así como los principales aspectos e impactos ambientales que la operación de la estación pueda generar.

Se incluye una descripción técnica de todos los sistemas que conforman la estación, de manera que permitan al operador, la correcta identificación de cada equipo, sus parámetros de operación, y cuál es la función que cumple cada uno en el proceso de compresión de la estación.

Se describe más a fondo la tecnología que utilizan las unidades de compresión MOPICO, identificando sus principales equipos asociados, y detallando la función que cumple cada uno de ellos en la correcta operación de cada unidad.

Se identifican los procedimientos de puesta en marcha, operación normal, parada normal y parada de emergencia de la estación de compresión, así como los requerimientos y procesos necesarios para realizar una operación de remota desde el centro principal de control (CPC) de la compañía.

* Monografía Especialización Ingeniería del Gas.

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas, Escuela Ingeniería de Petróleos, Director. Manuel Enrique Cabarcas Simacas. Magister en Ingeniería Química.

ABSTRACT.

TITLE: OPERATION MANUAL OF THE SABANA GAS COMPRESSION STATION.*

AUTHOR: DAVID RICARDO TORRA RODRÍGUEZ.**

KEY WORDS: OPERATION, COMPRESSION STATION, MANUAL, MOPICO, REMOTE OPERATION, MAIN CONTROL CENTER.

This operating manual is designed with the purpose of providing operators, both in the control room and in the field, with a basic guide to the proper procedures necessary for the correct operation of the La Sabana gas compression station.

A description is made of the processes that allow the operation of the compression station, taking into account the type of technology used and the basic design criteria with which the compression station was built. A basic analysis is made of the main security conditions that must be taken into account to execute an appropriate operation, as well as the main aspects and environmental impacts that the operation of the station can generate.

It includes a technical description of all the systems that make up the station, so as to allow the operator, the correct identification of each equipment, its operating parameters, and what is the function that each one fulfills the process of station compression.

It further describes the technology used by MOPICO compression units, identifying their main associated equipment, and detailing the function each of them performs in the correct operation of each unit.

Procedures for commissioning, normal operation, normal shutdown and emergency stop of the compression station, as well as the requirements and processes necessary to carry out a remote operation from the company's main control center (CPC) are identified.

* Monography, Gas Engineering Specialization.

** Faculty of Physicochemical Engineering, Petroleum Engineering School, Director. Manuel Enrique Cabarcas Simacas. Magister in chemical engineering.

INTRODUCCION.

En la actualidad, la estación de compresión de gas de La Sabana, no cuenta con un instructivo claro el cual permita la correcta operación de la estación, y de todos los sistemas asociados. El presente manual se elabora con el fin de permitir a los operadores una orientación de manera general, de los principios operacionales propios presentes en esta nueva estación de compresión, teniendo en cuenta la tecnología propia de la misma.

En el presente manual se realiza una descripción general de todos los sistemas propios de la estación de compresión. Además, se realiza una explicación detallada del funcionamiento y sistemas que componen las unidades de compresión MOPICO, las cuales cuentan con un compresor centrífugo de flujo dinámico, accionado por un motor eléctrico.

Se tienen en cuenta los parámetros operacionales presentes en la estación de compresión, los cuales están regidos bajo los parámetros del reglamento único de transporte RUT.

Se realiza la descripción de los procedimientos propios de puesta en servicio, parada normal, parada de emergencia y re arranque de la estación de compresión, siguiendo siempre los procedimientos mínimos de seguridad industrial. Además se realiza una breve descripción de la manera correcta de realizar una operación desde el centro principal de control, es decir de manera remota.

1. INFORMACION GENERAL.

1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.1.1. **Objetivo general.** Elaborar el manual de operación de la estación de compresión de gas de La Sabana.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- ✓ Describir los criterios de diseño de la estación de compresión de la Sabana y los aspectos relacionados con la seguridad y el medio ambiente, necesarios para la correcta operación.
- ✓ Analizar las características de funcionamiento de los sistemas principales, y los sistemas auxiliares utilizados en la operación de la estación de compresión.
- ✓ Definir las secuencias operativas (puesta en marcha, parada normal, parada de emergencia y re arranque) de la estación de compresión de gas de la Sabana.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

En la actualidad en Colombia y en Latinoamérica, solo existe una estación de compresión de gas la cual utiliza tecnología de compresores centrífugos de flujo dinámico en línea (MOPICO), y esta es la ECG La Sabana, debido a esto, no existe una fuente documental la cual muestre la manera correcta de operar este tipo de estaciones de compresión, bajo las condiciones actuales de reglamentación de transporte del hidrocarburo en nuestro país.

Se está presentando que, en esta única estación de compresión, los operadores no cuentan con la experiencia en operación de este tipo de equipos, ni con un instructivo detallado de las características operativas y el alcance de uso de estos equipos, lo que genera que se ejecuten malas prácticas en la operación.

De continuar con lo anterior, se espera que probablemente existan daños en los equipos compresores, disminución de su vida útil y el no aprovechamiento del máximo potencial de los equipos, lo que involucraría pérdidas económicas de la compañía por alto consumo de energía. Además de lo anterior, la mala operación de los equipos podría generar que las compañías no tengan en cuenta esta tecnología para proyectos futuros.

1.3. ALCANCE.

Con la elaboración de un manual de operación para la estación de compresión de gas de La Sabana (ECG La Sabana), se podrá asistir a los operadores tanto de campo como de CPC, en los procedimientos básicos de entrada en operación, operación continuada y parada de planta, además de la resolución de problemas operativos comunes y de directrices que se deben seguir en eventos de emergencia, además de que se podrá conocer más a fondo la dinámica de funcionamiento de los compresores y de los equipos auxiliares involucrados en la estación. Para ello, se revisarán los manuales técnicos y de diseño de los equipos involucrados, y se deberá tomar la experiencia de diferentes estaciones alrededor del mundo que utilizan esta tecnología, ajustando las condiciones operativas a las condiciones de regulación nacional.

1.4. JUSTIFICACION.

El presente manual de operación de la estación de compresión de gas La Sabana se elabora con el fin de crear una guía en donde se puedan identificar los diferentes sistemas tanto principales como auxiliares que comprenden la planta. Además, crear un derrotero que indique la manera segura y correcta de cómo se debe operar la estación de compresión, teniendo en cuenta el tipo de tecnología por la que está compuesta.

La presente monografía beneficiara tanto a los operadores del centro principal de control de TGI S.A. ESP, como a los operadores de campo quienes están encargados de las labores diarias en la estación de compresión, y facilitara al personal de mantenimiento la identificación de equipos y sistemas para la ejecución las rutinas propias de cada especialidad.

2. GENERALIDADES DE LA ESTACION DE COMPRESION DE LA SABANA.

El proyecto de expansión del gasoducto desde Cusiana, iniciado en el 2008, contempló aumentar en 222 MMSCFD la capacidad de transporte de gas por el gasoducto Cusiana-Porvenir – La belleza- Vascónia. En mencionado proyecto, la capacidad de transporte también fue aumentada hasta la estación de entrega de TGI en Cogua, Cundinamarca.

La capacidad de transporte del gasoducto Cogua – Chía - Bogotá en su momento era de 140 MMSCFD, lo cual limitaba el actual aumento de capacidad del tramo. La respuesta de esto fue la construcción de la estación de compresión de gas La Sabana, la cual aumento la capacidad de transporte del gasoducto a 270 MMSCFD, para horas de consumo pico en Bogotá, y un promedio de operación normal de 215 MMSCFD.

Según las simulaciones hidráulicas realizadas en su momento por la compañía, la construcción de la estación se determinó en las inmediaciones de los municipios de Cajicá y Zipaquirá. Teniendo en cuenta que la zona es un área de alta densidad poblacional, se debió escoger un tipo de tecnología el cual minimizara el impacto (niveles de ruido, contaminación visual, emisiones atmosféricas, entre otras) a los vecinos del área en los momentos de operación de la estación.

TGI después de evaluar las tecnologías existentes en sistemas de compresión de gas, determinó que la mejor tecnología que se ajustaba a las necesidades y restricciones particulares del proyecto es la combinación Compresor de flujo dinámico - Motor eléctrico (tecnología marca MOPICO - Motor Pipeline Compressor).¹

La Estación de Compresión de Gas de La Sabana hace parte del gasoducto La Sabana y se encuentra localizada en la vereda Río Grande del municipio de Cajicá, en un lote con área aproximada de 2.3 hectáreas (23.000 m²). Las condiciones ambientales de la zona se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Condiciones ambientales ECGSB.

Altura sobre el nivel del mar.	2569 msnm	
Presión Barométrica.	10,83 psia	
Temperatura ambiente.	Máxima	68 °F
	Mínima	35,60 °F

Continúa...

¹ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, 614539_Dossier_Construccion_Cap_1_Tomo_1, BOGOTA, MAYO DE 2016.

Continuación Tabla 1. Condiciones ambientales ECGSB.

Humedad relativa.	Promedio	84 %
Velocidad del viento.	Promedio	1 - 3 m/s
Dirección del viento predominante.	CAR (A. Guaymaral)	N - NE

Dossier de construcción ECGSB.

La Estación de Comprensión de Gas de la Sabana (ECGSB) se diseñó para operar con las corrientes de gas tanto de Cusiana como de gas Ballenas (Guajira), bajo condiciones RUT, cuyas composiciones globales (cromatografía) y características se muestran en la Tabla 2:

Tabla 2. Cromatografía gas Cusiana y Gas Ballena (Guajira) ECGSB

Gas Cusiana - Porvenir		Gas Ballena	
Compuesto	% mol	Compuesto	% mol
Nitrógeno	0,60079	Nitrógeno	1,40863
CO2	1,86851	CO2	0,23147
Metano	82,58303	Metano	97,98933
Etano	10,15486	Etano	0,24648
Propano	3,5759	Propano	0,0484
I-Butano	0,51531	I-Butano	0,02663
n-butano	0,51982	n-butano	0,00977
I-pentano	0,10388	I-pentano	0,00845
n-pentano	0,04843	n-pentano	0,00204
Hexano	0,02949	Hexano	0,0288
Propiedades		Propiedades	
Poder Calorífico	1,14334 HV	Poder Calorífico	0,99663 HV
Grav. Especifica	0,67663	Grav. Especifica	0,56602
Peso Molecular	19,622 lb/lbmol	Peso Molecular	16,4145 lb/lbmol
Densidad	0,05166 lbm/ft3	Densidad	0,04308 lbm/ft3

Centro principal de control (CPC) TGI S.A. ESP.

El caudal máximo de diseño de la estación es 270 MMSCFD, el tiempo de operación normal estimado se encuentra entre 16 y 17 horas del día. Durante el tiempo restante del día el sistema de compresión sale de operación. La operación de la estación durante 24 horas continuas se realizará únicamente en el caso en que la demanda de consumo así lo requiera.²

² TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, 614539 Dossier Construcción Cap. 1 Tomo 1, BOGOTA, MAYO DE 2016.

2.1. ASPECTOS DE SEGURIDAD.

La operación y mantenimiento de los equipos que constituyen la estación de compresión de Gas de la Sabana debe ser realizada exclusivamente por personal entrenado y calificado³. Dicho personal deberá estar familiarizado con las reglamentaciones locales, departamentales, nacionales e internacionales, así como también con los procedimientos específicos de operación y mantenimiento de la estación, de los equipos propios de cada sistema, y teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por los proveedores y fabricantes, siempre bajo el estricto cumplimiento de las normas de seguridad establecidas por la compañía, los estándares nacionales y la normatividad HSEQ actualizada.

Teniendo en cuenta que la estación de compresión maneja voltajes eléctricos altos (media tensión), la intervención de los sistemas eléctricos debe ser previamente coordinado con el CPC, el proveedor de servicio de energía y el área de mantenimiento de la compañía, y debe ser ejecutado únicamente por personal calificado ante el Concejo Nacional de técnicos Electricistas, en el nivel mínimo para manejo de media tensión.

2.2. ASPECTOS AMBIENTALES.

Durante la operación y/o mantenimiento de la estación de compresión de Gas de la Sabana deben considerarse en forma permanente las protecciones y los impactos asociados al medio ambiente. Por tal motivo es obligatorio que todo el personal involucrado directa o indirectamente con la estación de compresión conozca y se encuentre familiarizado con todas las reglamentaciones ambientales locales, departamentales y nacionales.

Todo el personal involucrado directa o indirectamente con la estación de compresión debe considerar siempre lo siguiente aspectos entre otros:

- Revisar continuamente el estado de los venteos, drenajes y conexiones similares susceptibles de permanecer abiertas y convertirse en fuentes de fugas de líquidos o gases al medio ambiente.
- Por ningún motivo se deben drenar líquidos u otros residuos directamente en el suelo. Si no se dispone de un drenaje canalizado, se deben coleccionar los líquidos o residuos drenados en un contenedor adecuado siguiendo todas las instrucciones de seguridad necesarias. Los líquidos y/o residuos drenados deben ser manipulados y dispuestos de acuerdo a las reglamentaciones ambientales colombianas.

³ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, Manual de Operación ECGSB Cap6 Rv00, BOGOTA, MAYO DE 2016

- Los desechos eléctricos que resulten de las reparaciones y/o cambios por vida útil, deben ser almacenados y/o entregados a las firmas expertas para que se encarguen de hacer las respectivas disposiciones.
- No debe ventearse gas a la atmósfera a menos que sea absolutamente necesario.
- El diseño del venteo de la estación, se desarrolló con base en estudios de dispersión de gases en el medio ambiente, teniendo en cuenta la dirección predominante de los vientos en el sector.
- Revisar las últimas actualizaciones en cuanto a reglamentación ambiental apliquen.⁴

⁴ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, Manual de Operación ECGSB cap7_Rv00, BOGOTA, MAYO DE 2016.

3. DESCRIPCION DEL PROCESO.

La función de una estación compresora de gas es elevar la presión del fluido en la línea, con el fin de suministrarle la energía necesaria para su transporte.⁵

En las estaciones convencionales (tecnología reciprocante), el flujo inicia su recorrido por la línea de succión, pasando por equipos de subprocesos como Slug C atcher, filtros de succión o separadores, moto compresores, etc. Posteriormente, el gas a una mayor presión, sale por la línea de descarga de los moto compresores, entra a los filtros de descarga o coalescentes y finalmente nuevamente regresa al gasoducto.

Las estaciones de compresión para su normal funcionamiento requieren del uso de sistemas auxiliares los cuales hacen parte fundamental de la operación de los equipos de la estación. Estos sistemas est n vinculados directamente con el funcionamiento de los moto-compresores, y son: sistema de gas combustible, el cual alimenta los motores que mueven los compresores para aplicar energía al gas. El sistema de gas de arranque, el cual ayuda al arranque inicial de los motores, y que se usa cada vez que se requiere poner en marcha una unidad de compresión. Debido a que los motores y compresores deben ser descargados cuando estos se dejan fuera de funcionamiento, es necesario evacuar el gas de los compresores cuando las unidades se apagan. Este gas es necesario quemarlo en TEA para disminuir el impacto ambiental que la emanación de gases puede generar, por lo que estas estaciones de compresión cuentan con un sistema de gas de purga y piloto, para mantener la llama de la TEA siempre encendida.

La estación de compresión de gas de La Sabana se compone principalmente de los sistemas de recibo, filtración, compresión y despacho de gas. La particularidad de la estación compresora, es que esta no cuenta con sistema de filtración de descarga, Slug c atcher, ni sistemas de gas combustible, gas arranque, entre otros. Teniendo en cuenta que la tecnología utilizada para el proceso de compresión es diferente a las tecnologías convencionales utilizadas, y que el apagado de las unidades de compresión no requiere su despresurización, la estación no cuenta con sistemas de gas purga ni piloto, ya que la TEA fue reemplazada por un sistema de venteo, el cual solamente será usado para eventos de emergencia.

- ✓ **PROCESO ECGSB.** La estación de compresión de gas La Sabana cuenta con manifold de entrada, filtro de succión, sistema de compresión compuesto de dos unidades de compresión, manifold de descarga, línea de venteo, medidores ultrasónicos en las líneas de descarga y venteo. Además de lo anterior, cuenta con diferentes sistemas auxiliares para su normal

⁵ Tomado de: <http://www.tgi.com.co/index.php/es/nuestra-operacion/mapa-red-nacional-de-gasoductos/estaciones-de-compresion-de-gas> (fecha de consulta, septiembre 2016).

funcionamiento, como lo son el sistema eléctrico de potencia, sistema de aire comprimido, sistemas de recolección de líquidos condensados, sistema de ventilación forzada, sistema de F&G, entre otros.

Figura 1. Estación de Compresión de Gas La Sabana.



- ✓ **CRITERIOS DE DISEÑO.** A continuación se relacionan los principales criterios de diseño que se tuvieron en cuenta para la construcción de la estación de compresión de gas La Sabana.

Tabla 3. Criterios operativos Estación de Compresión de Gas La Sabana

CRITERIOS DE OPERACIÓN ECGSB	
Capacidad mínima de operación.	140 MMSCFD
Capacidad nominal de operación.	215 MMSCFD
Capacidad máxima de operación.	270 MMSCFD
Presión mínima de operación en succión.	280 psig
Presión máxima de operación en succión	440 psig
Presión máxima de operación en descarga	510 psig
Temperatura mínima de operación en succión.	33°F
Temperatura máxima de operación en succión	60°F
Temperatura máxima de operación en descarga	120°F

Dossier de construcción ECGSB.

3.1. SISTEMA DE RECIBO DE GAS.

El gas a transportar por la ECGSB, viene por el gasoducto de La Sabana, procedente del centro operacional de gas Cogua. Entra a la ECGSB por manifold de entrada de 20" de diámetro, ubicado en el bunker del gasoducto de la sabana, y el cual sirve de aislamiento total de la estación en caso de ser requerido. Fuera del bunker se extienden dos líneas de 20" de diámetro que pasan sobre un reservorio de agua, perteneciente a la estación. Luego continúan las líneas enterradas hasta el Shelter de compresores el cual aloja las facilidades de proceso y las unidades de compresión.

Figura 2. Manifold de válvulas de corte bunker ECGSB.



Figura 3. Bypass principal ECGSB.



Posterior al ingreso al Shelter de compresoras, la tubería se divide en dos líneas igualmente de 20" de diámetro. Una de las líneas va hacia el manifold de bypass de la estación el cual cuenta con una válvula cheque CK-004, y una válvula de bola BA-003 (Figura 3). La función principal del sistema de bypass es permitir el flujo continuo de gas hacia el gasoducto cuando la estación no se encuentre en operación, por lo tanto el estado de la válvula BA-003 es normalmente abierto, y esta línea llega al sistema de despacho de gas de la estación.

La otra línea de 20" de diámetro cumple la función de la línea de succión principal de la estación. Esta línea cuenta con una válvula de bola de 20" con actuador neumático de simple efecto (SDV-003). Esta válvula está asociada al sistema de emergencia de la estación, y actúa cuando se presenta una parada de emergencia de la estación (Shutdown). La posición de esta válvula es normalmente abierta. Esta válvula cuenta con una válvula de bola de 20" con actuador manual, (volanta), BA-007, ubicada aguas arriba de la válvula SDV-003 y sirve como respaldo mecánico cuando se requiera despresurizar la estación de compresión. Su posición es normalmente abierta.

Paralela a la válvula SDV-003, se encuentra una línea de 2" de diámetro y cuenta con una válvula de bola con actuador neumático de simple efecto (SDV-004), la cual cumple la función de presurización de la estación, y su posición en operación es normalmente cerrada. La apertura de esta válvula se da únicamente al momento de presurizar la estación, y se cierra al momento de que la válvula SDV-003 se encuentre abierta. Posterior a las válvulas de succión, se encuentran las Tee's de recibo de las líneas de *Antisurge*, las cuales se describirán más adelante en el presente manual.

Figura 4. Válvulas SDV-003, SDV-004 y BA-007 ECGSB.



3.2. SISTEMA DE FILTRACION DE SUCCION.

Posterior al ingreso del gas por el manifold de entrada de la estación, este se dirige al filtro de succión de la estación HFS-001, el cual es un filtro horizontal de tipo coalescente, marca PECO, referencia PEACH® GEMINI PURA-SEP ®. Este es utilizado para la remoción de sólidos y líquidos entrampados en la corriente de gas natural. Lo particular de este diseño es que cuenta con elementos reemplazables en la primera y en la segunda etapa, separados únicamente por una mampara. Este arreglo proporciona una etapa de doble coalescencia. Los elementos están montados sobre una placa soporte ranurada (lbi), la cual está montada sobre un cilindro de acero inoxidable colocado en la segunda etapa del recipiente. Si por alguna razón esta placa llegase a taponarse, esta puede removerse fácilmente desde la primera etapa del recipiente, pudiendo entonces limpiarse y/o cambiarse. El acceso a los elementos es a través de una abertura colocada en un extremo del recipiente la cual cuenta con una tapa de apertura rápida GOC PECO ®.⁶ En la tabla 4 se relacionan los datos operativos del filtro de succión SB-HFS-001.

Tabla 4. Datos operativos filtro de succión SB-HFS-001, ECGSB.

Capacidad mínima	140 MMSCFD
Capacidad de operación	215 MMSCFD
Capacidad máxima	270 MMSCFD
Presión de operación	280 psig / 440 psig
Presión máxima de diseño	710 psig
Temperatura de operación	31,6°F / 60°F
Temperatura máxima de diseño	150°F

Dossier de construcción ECGSB.

Las cámaras del cilindro superior contienen los elementos filtrantes y por lo tanto es en esta zona del filtro donde se separan los líquidos y sólidos que contenga el gas con el fin de asegurar que a las unidades de compresión no ingrese ninguno de éstos. Los líquidos condensados se almacenan en las cámaras ubicadas en el cilindro inferior del filtro y de allí son direccionados por gravedad hacia el sistema de condensado y drenaje de la estación. Los sólidos en su mayoría se depositarán en la superficie de los elementos filtrantes y en el fondo del cilindro superior del filtro. Una pequeña porción de sólidos puede ser transportada por arrastre a las cámaras del cilindro inferior. El filtro coalescente cuenta con capacidad de retirar del gas partículas de líquido de tamaños superiores a 1.0 micrones en la primera

⁶ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, Dossier de Construcción ECG La Sabana, LA-100053 - Filosofía de Operación PGCPH, BOGOTA, SEPTIEMBRE 2016.

cámara y partículas de tamaños tan pequeños como 0.3 micrones en la segunda cámara. El gas que abandona la segunda cámara se encuentra libre de líquidos y sólidos y es dirigido hacia las unidades de compresión.⁷

Figura 5. Filtro de succión ECGSB.



El estado de los elementos filtrantes se determina por la presión diferencial existente entre las dos cámaras del filtro, por lo cual se cuenta con el transmisor de presión diferencial PDZIT-012, el cual está conectado al sistema de Shutdown de la estación, y el cual envía la parada de emergencia al sistema, al momento en que la diferencia de presión de las dos cámaras sea de 5 psi.

Para el manejo de los líquidos condensados, el filtro HFS-001 cuenta con un sistema de monitoreo y control de líquidos condensados, el cual por medio de los transmisores de nivel LIT-015 y LIT-017 censa el nivel de líquidos por cada cámara y cuando el set de 12" de nivel es alcanzado, se envía al DCS la señal de activación de las válvulas LV-015 y LV-017, las cuales a su vez cuentan con platinas de orificio para la restricción del flujo de condensados. Las válvulas tipo cheque CK-017 y CK-018 se encuentran aguas debajo de las platinas de orificio, y estas no permiten el retroceso por contrapresión de los líquidos a las cámaras del

⁷ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP,
614539_Dossier_Construccion_Cap_3_Tomo_21 BOGOTA, SEPTIEMBRE DE 2016

filtro. A la salida de los cheques, las tuberías se unen y llegan a la válvula LV-021, la cual es normalmente abierta, y a esta llegan los flujos de condensados de las dos cámaras del filtro. Luego de que el nivel de las cámaras del filtro baja hasta alcanzar un nivel mínimo de 3", los LIT envían la señal al DCS para el respectivo cierre de las válvulas LV-015 y LV-017.

Figura 6. Transmisor de Presión diferencial PDZIT-012 ECGSB.



Existe un switch de nivel por cada cámara (LSL-024 y LSL-025), el cual envía la señal de cierre de la válvula LV-021, y está ubicado a 2" de nivel.

Por seguridad, se cuentan con switch de nivel tanto por nivel bajo como por nivel "alto-alto". Estos switch están conectados al sistema de emergencia de la estación. Los switch de nivel alto-alto (LSZHH- 019 y LSZHH-20) están ubicados a 15" de nivel, y envían la señal de Shutdown o parada de emergencia al sistema, por acumulación excesiva de condensados. Esta condición se puede presentar por falla en el accionamiento de las válvulas de drenaje (LV-015, LV-07, LV-021), o por que la cantidad de condensados en el filtro es tal, que la operación de las válvulas de drenaje no es suficiente para la evacuación de los condensados.

Los switch de nivel LSZLL-022 y LSZLL-023 controlan el nivel mínimo requerido en la cámara de recolección de condensados. Se debe tener en cuenta que la tubería del sistema de drenaje de condensados es de tipo sifón, lo que permite que siempre existan condensados en esta cámara, para evitar el paso de gas hacia el sistema de recolección y posteriormente a la vasija de condensados. La ubicación de los switch de nivel "bajo-bajo" es a 1" del nivel de cada cámara, y la

no activación de los mismos recurre en una señal hacia el sistema de emergencia de la estación, lo que ocasionará un Shutdown general.

Figura 7. Sistema de drenaje líquidos condensados SB-HFS-001. ECGSB.



3.3. SISTEMA DE COMPRESION DE GAS.

Luego de que el gas es filtrado y ya se encuentra libre de partículas sólidas y rastros de condensado y agua, es llevado hacia las unidades de compresión de gas.

A la entrada de cada unidad se encuentran instaladas las válvulas SDV-101 y SDV-301, las cuales cumplen la función de bloquear o permitir el ingreso de gas. En operación, su posición es normalmente abierta, y cierran al momento de presentarse alguna emergencia, o cuando el comando de las UCP lo requieran. Estas válvulas cuentan cada una con un respectivo bypass, SDV-102 y SDV-302, las cuales permiten la presurización controlada de cada unidad. Estas últimas válvulas solo abren al momento de presurización, y en operación normal, su posición es normalmente cerrada.

La estación de compresión de gas de La Sabana cuenta con dos trenes de compresión los cuales están compuestos por compresores centrífugos con motor eléctrico de la marca Man Diesel & Turbo, del modelo MOPICO (Motor Pipeline Compressor).

Las unidades de compresión MOPICO, se caracterizan por ser compactas, libres de lubricantes, libres de fricción, además de ser equipos de alto desempeño. Las principales características se relatan a continuación:

- ✓ Compresor multietapa provisto de dos impeler ajustados en un mismo rotor.
- ✓ Motor eléctrico inductivo de alta velocidad y frecuencia variable.
- ✓ Cojinetes magnéticos (dos radiales y uno axial) lo que permite que el rotor del motor gire libremente sin fricción.
- ✓ Enfriamiento por gas de proceso. Los cojinetes magnéticos y el devanado del motor son refrigerados por el mismo gas de proceso.⁸

A continuación se realiza una descripción de los trenes de compresión de las unidades de la ECGSB.

Figura 8. Unidad de compresión de gas ECGSB.



Las unidades de compresión de la ECGSB constan de diferentes sistemas asociados, los cuales hacen parte fundamental del tren de compresión. Estos sistemas permiten el control de la operación de manera sincronizada, facilitando la supervisión de los parámetros de la maquina por secciones, permitiendo la rápida y oportuna identificación y resolución de fallas.

⁸ Brouchere MOPICO tomado de http://turbomachinery.man.eu/docs/librariesprovider4/Turbomachinery_doc/mopico---gas-pipeline-compression-system.pdf?sfvrsn=6 (fecha de consulta: Septiembre 2016).

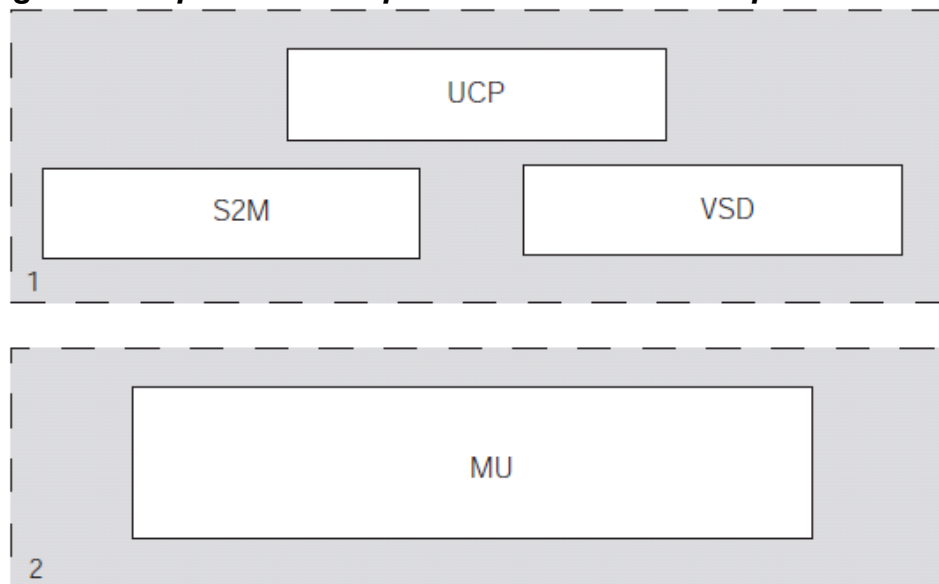
Los sistemas son S2M (Cojinetes magnéticos) y VSD (Variador de frecuencia), los cuales junto con la UCP (Panel de control de la unidad), permiten el control general de la unidad de compresión MU (Grupo MOPICO).

Cabe resaltar que el grupo MOPICO se encuentra instalado en las facilidades de proceso y este en sí, está relacionado como la unidad de compresión, y es el encargado de aumentar la presión del gas para ser enviado al gasoducto.

Los sistemas S2M, VSD y UCP, que hacen parte del sistema de control y monitoreo de la unidad de compresión, y se ubican en el cuarto de control.

En la figura 9, se muestra la disposición de los principales sistemas que componen el tren de compresión, vale aclarar que se muestra la ubicación de los tableros de la electrónica de cada sistema principal, y de la unidad compresora en sí. Posteriormente en la figura 10, se muestran los principales componentes de la unidad compresora como tal.

Figura 9. Disposición componentes unidad de máquinas ECGSB.



1. Sala de Control.

2. Shelter de compresores.

S2M. Tablero de control cojinetes magnéticos.

UCP. Tablero de control unidades de compresión.

VSD. Tablero de control convertidor de frecuencia (Variador de velocidad).

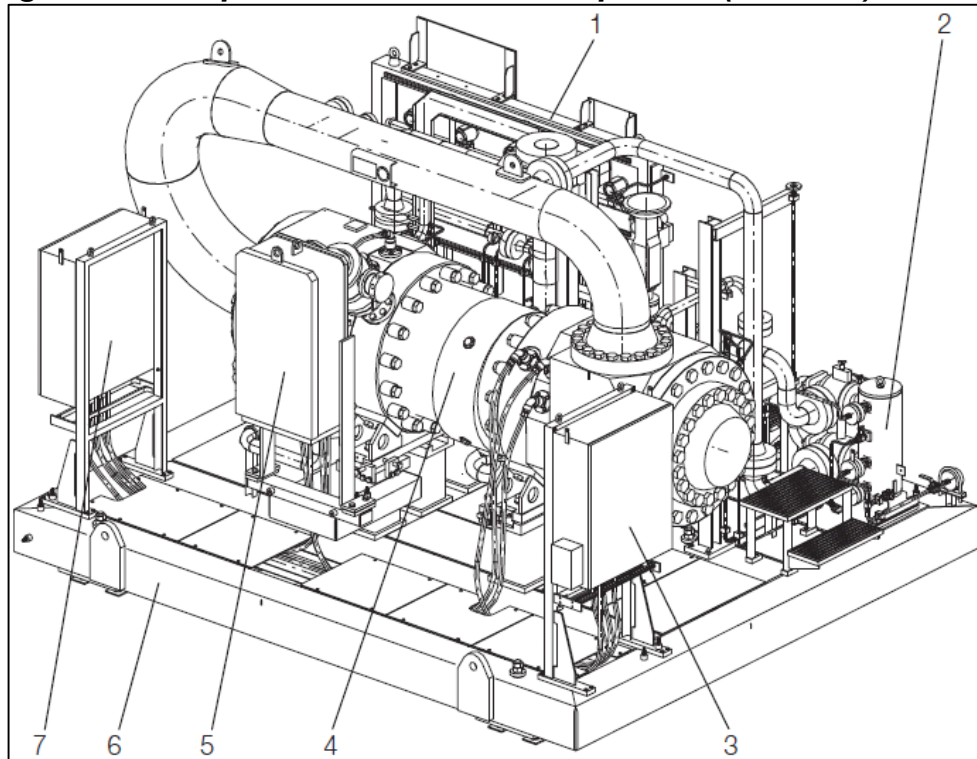
MU. Grupo MOPICO (Unidad de máquinas)

MAN Diesel & Turbo | Operating Instructions | Machine Unit | Sabana.

A continuación se describen brevemente las funciones de los componentes y sistemas de las unidades de compresión MOPICO.

3.3.1. Compresores.⁹ Los compresores C-01 (1ª etapa) y C-02 (2ª etapa) comprimen el gas de proceso de acuerdo con las leyes de la mecánica de fluidos. La energía mecánica transmitida por el motor de accionamiento se transmite en las etapas del compresor hacia el gas de proceso que fluye a través de la brida de succión. Después de un aumento gradual de la presión en las etapas individuales del compresor, el gas de proceso entra en la corriente “downstream” de proceso a través de la brida de descarga.

Figura 10. Componentes unidad de compresión (MOPICO) ECGSB.



1. Rack de tubería gas refrigerante
2. Filtro de gas refrigerante
3. Caja de conexiones (corriente) cojinetes magnéticos
4. Motor-compresor
5. Caja de conexiones motor
6. Frame principal
7. Caja de conexiones (señales) cojinetes magnéticos

MAN Diesel & Turbo | Operating Instructions | Machine Unit | Sabana

Cada compresor está integrado por los siguientes componentes:

⁹ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. MAN Diesel & Turbo | Operating Instructions | Machine Unit | Sabana |. Bogotá, Septiembre de 2016

- ✓ **Carcasa.** La carcasa está herméticamente cerrada y atornillada a la carcasa del motor del accionamiento. La carcasa dispone de puntos para conectar las tuberías de gas de proceso y las tuberías de gas refrigerante.
- ✓ **Eje (Rotor o Árbol).** El eje porta los impeler (impulsores o rodetes) y transmite la energía mecánica del motor de accionamiento a través de los mismos al gas de proceso. El eje está unido firmemente al eje del motor del motor de accionamiento.
- ✓ **Impeler.** Los impeler o impulsores, aceleran el gas de proceso en sentido radial.
- ✓ **Difusor.** El compresor incorpora después de cada impeler, un difusor sujeto a su carcasa. Cada difusor contribuye a convertir en presión la energía cinética del gas de proceso, la cual es transmitida por el rotor (eje).
- ✓ **Anillos de Sellado.** Los anillos de sellado con juntas laberínticas fresadas, reducen las fugas entre los impeler y los cojinetes del eje.

3.3.2. Motor de accionamiento.¹⁰ El motor de accionamiento refrigerado por gas de proceso CM-01, es un motor eléctrico de velocidad variable por control de frecuencia, modelo M33. Transforma la energía eléctrica en energía mecánica de rotación. Esta energía de rotación acciona ambos compresores embridados. El motor de accionamiento descansa sobre pedestales, en la base de la unidad. El motor de accionamiento está integrado por los siguientes componentes:

- ✓ **Carcasa.** La carcasa está herméticamente cerrada y atornillada a la carcasa de los compresores. La carcasa dispone de puntos para conexión de las tuberías de gas refrigerante.
- ✓ **Eje (Rotor o árbol).** El eje es accionado por el estator y transmite la fuerza a los ejes de los compresores. (Los ejes de los compresores y motor son un solo eje).
- ✓ **Estator.** El estator consta de un devanado incorporado a un paquete de láminas magnéticas. Este paquete está unido firmemente a la carcasa.
- ✓ **Pasa cables líneas de potencia.** Los cables de potencia llegan de la caja de bornes del motor, a través de un pasa cables al interior de la carcasa del motor de accionamiento. El pasa cables dispone de un dispositivo de vigilancia de presión y de un disco de ruptura.

¹⁰ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. MAN Diesel & Turbo | Operating Instructions | Machine Unit | Sabana |. Bogotá, Septiembre de 2016.

3.3.3. Cojinetes magnéticos. El eje de la máquina está apoyado en cojinetes magnéticos axiales y radiales. El árbol es elevado por campos electromagnéticos que lo mantienen en la posición necesaria. El calor que se genera se disipa mediante gas refrigerante.

No es posible el funcionamiento en régimen permanente de la máquina si los cojinetes magnéticos no están funcionalmente operativos. Si falla la alimentación eléctrica de los cojinetes magnéticos, el control provoca la parada automática de la máquina.¹¹

3.3.3.1. Descripción del sistema de cojinetes magnéticos.¹² Un cojinete magnético activo (AMB, Active magnetic bearing) consiste de dos piezas distintas:

- ✓ Cojinetes (Radiales y Axiales)
- ✓ Sistema de control electrónico.

A continuación se realiza la descripción de las piezas que componen los cojinetes magnéticos:

➤ **Cojinetes.**

✓ **Cojinete radial.** El rotor del cojinete radial cuenta con láminas ferromagnéticas que se mantienen en posición por los campos magnéticos creados por los electroimanes colocados en el estator.

El rotor se hace levitar en el centro sin tocar el estator. Los sensores inductivos variables monitorizan la posición del rotor. Estos sensores detectan cualquier desviación de la posición nominal y emiten señales que mandan corrientes en los electroimanes para regresar el rotor a su posición nominal.

La figura 11 muestra una representación esquemática de cómo están conformados los cojinetes radiales de los compresores MOPICO.

✓ **Cojinete axial.** El cojinete axial se basa en el mismo principio. El rotor contiene un disco montado perpendicular al eje de rotación y opuesto a los electroimanes del estator. El sensor de posición con frecuencia está ubicado al final del eje, donde la posición axial se debe mantener constante. En la figura 12, se aprecia el esquema de los cojinetes magnéticos axiales.

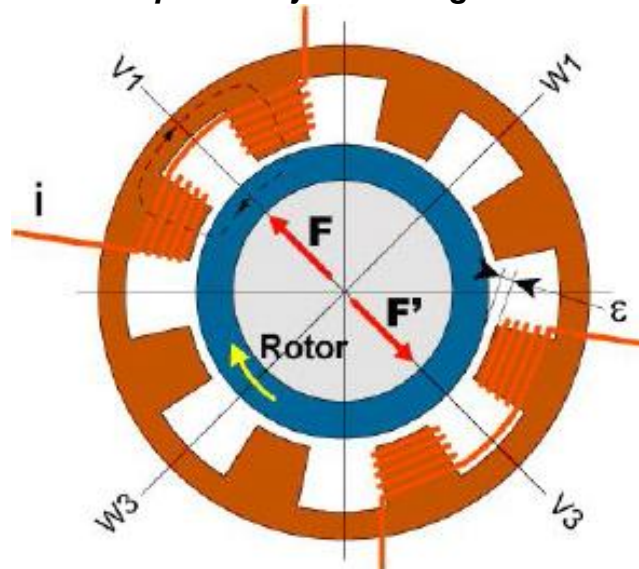
✓ **Cojinetes auxiliares.** Los cojinetes auxiliares soportan el rotor cuando la máquina se apaga y en el caso de un malfuncionamiento del sistema de levitación magnética. En la operación normal, estos cojinetes auxiliares están estacionarios. El espacio entre los cojinetes auxiliares y el rotor es generalmente igual a la mitad

¹¹ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. MAN Diesel & Turbo | Operating Instructions | Machine Unit | Sabana |. Bogotá, Septiembre de 2016.

¹² TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. S2M by SKF. Manual de usuario armario de control cojinetes magnéticos. Bogotá. Septiembre 2016

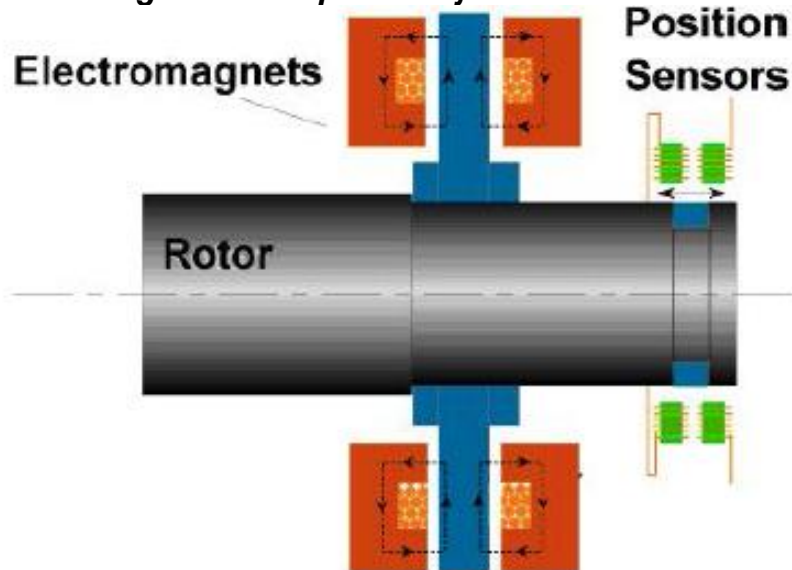
del entrehierro, pero se puede reducir, de ser necesario. Los cojinetes auxiliares son generalmente cojinetes de bolas lubricados en seco (rodamientos), aunque se pueden usar otros tipos de cojinetes, como cojinetes sencillos. En la figura 12 se aprecia el esquema ilustrativo de los cojinetes magnéticos axiales.

Figura 11. Esquema cojinetes magnéticos radiales.



S2M by SKF. Manual de usuario armario de control cojinetes magnéticos.

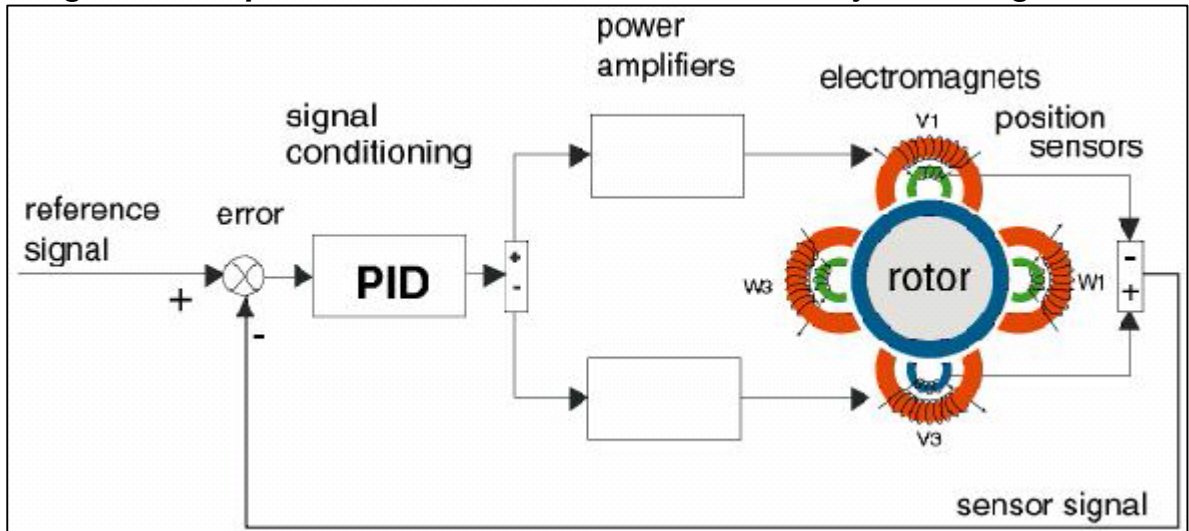
Figura 12. Esquema cojinetes axiales.



S2M by SKF. Manual de usuario armario de control cojinetes magnéticos.

- **Sistema de control electrónico.** El sistema de control electrónico controla la posición del rotor modulando la corriente que fluye a través de los electroimanes utilizando las señales generadas por los sensores de posición.

Figura 13. Esquema sistema de control electrónico cojinetes magnéticos.



S2M by SKF. Manual de usuario armario de control cojinetes magnéticos.

- ✓ **Sistema electrónico de acondicionamiento de la señal.** La señal enviada por un sensor de posición se compara con la señal de referencia, la cual define la posición nominal del rotor. Si la señal de referencia se fija a cero, la posición nominal es en el centro del estator.

Cambiando la señal de referencia, es posible desviar la posición nominal en hasta la mitad del entrehierro. La señal de error es proporcional a la diferencia entre la posición nominal y la posición real del rotor en un instante dado. Esta señal se envía al procesador, que responde enviando una señal de corrección al amplificador de potencia.

La relación de la señal de salida a la señal de error se denomina la función de transferencia. La selección de la función de transferencia considera dos requerimientos: la necesidad de mantener el rotor en su posición nominal con el mayor grado posible de exactitud y la necesidad de regresar el rotor a su posición nominal rápidamente y con una respuesta bien amortiguada si la posición se altera. La función de transferencia define la rigidez y la amortiguación de la levitación magnética.

- ✓ **Amplificador de potencia.** Este dispositivo suministra a los electroimanes del cojinete la corriente requerida para crear el campo magnético que levita el rotor.

La potencia de los amplificadores depende de la fuerza máxima del electroimán, del entrehierro del tiempo de respuesta del sistema controlado (es decir, la velocidad a la que estas fuerzas se tienen que modificar cuando ocurre una alteración). El tamaño del sistema electrónico no se relaciona directamente con el peso del rotor de la máquina, sino en cambio a la relación de las fuerzas de alteración al peso del rotor. Consecuentemente, una pequeña caja de control será suficiente para una máquina grande que tenga un rotor relativamente pesado que experimente pocas alteraciones mayores y/o menores, en tanto que se requiere un armario de control más grande para una máquina que frecuentemente se enfrenta a grandes alteraciones.

➤ **Características principales de los cojinetes magnéticos.**¹³

- ✓ **Entrehierro.** El entrehierro es el espacio entre el rotor y el estator. El valor del entrehierro, denotado como “e”, depende el diámetro D del rotor o del cojinete.
- ✓ **Velocidad de rotación.** La velocidad de rotación de un cojinete radial magnético está sólo limitada por la capacidad de las placas de la laminación del rotor de resistir la fuerza centrífuga. Con placas estándar, es posible alcanzar velocidades periféricas (o superficiales) de 200 m/s. La velocidad de rotación de un cojinete axial magnético está sólo limitada por la resistencia del acero del disco del cojinete de empuje. Una velocidad periférica de 350 m/s es posible con equipo estándar.
- ✓ **Densidad de la fuerza.** El límite de carga para un cojinete magnético activo depende del material ferromagnético usado, del diámetro del rotor y de la longitud axial del estator del cojinete. La carga máxima por superficie unitaria (conocida como la densidad de la fuerza) obtenida con un cojinete magnético activo fabricado de materiales estándar es de 9 daN/cm². Esta carga unitaria máxima es menor que la de cojinetes convencionales, pero la velocidad circunferencial alta permitida hace posible aumentar el diámetro del eje para lograr una superficie de contacto más grande y de aquí la misma capacidad de carga que un cojinete convencional, sin aumentar su longitud.
- ✓ **Consumo de energía** Los cojinetes magnéticos activos usan muy poca energía. La energía que se consume se debe a las pérdidas de histéresis, las pérdidas por corrientes parásitas en el cojinete (esta energía se toma del eje) y las pérdidas por el efecto Joule en el alojamiento de la electrónica (esta energía se toma de los circuitos eléctricos). Los cojinetes magnéticos activos consumen de 10 a 100 veces menos energía que los cojinetes tradicionales para dimensiones comparables de máquina. El consumo de energía del sistema de control electrónico, que requiere una fuente externa de alimentación, es también muy

¹³ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. S2M by SKF. Manual de usuario armario de control cojinetes magnéticos. Bogotá. Septiembre 2016.

bajo. Las baterías se suministran para mantener la levitación en el caso de un fallo de la alimentación de la red eléctrica; entran en funcionamiento automáticamente.

✓ **Condiciones ambientales.** Los cojinetes magnéticos activos se pueden instalar directamente en el ambiente del proceso, eliminando completamente la necesidad de sellos y dispositivos asociados y de barreras de aislamiento térmico. Los cojinetes magnéticos activos actualmente operan en ambientes tan variados como vacío, aire, helio, hidrocarburos, oxígeno, agua de mar y hexafluoruro de uranio y a temperaturas que van de -253 °C a +450 °C.

3.3.4. Sistema antisurge. El sistema de compresión de gas de la ECGSB cuenta con un sistema de control anti-bombeo (Antisurge), el cual protege a la unidad de compresión del efecto de surge o bombeo.

La operación de un compresor centrífugo puede llegar a ser inestable debido a cambios en las condiciones del proceso como presión, temperatura y caudal del flujo de gas, llegando a una situación de surge límite de la máquina.

El surge ocurre en un compresor cuando el flujo de gas de entrada baja lo suficiente para ocasionar una inversión momentánea del sentido del flujo. Si la velocidad disminuye, el caudal de aspiración también baja y así su presión desarrollada por el proceso de compresión, pudiendo llegar al punto que esta presión sea menor a la ya existente, generando una inversión momentánea del sentido del flujo. La inversión hace bajar la presión en el compresor y así sucesivamente repitiendo este ciclo. Los ciclos repetitivos pueden causar daños graves si son repetitivos aunque sea por pocos segundos. Por eso se le llama "surge o bombeo" ya que la presión se acumula y se descarga alternativamente.¹⁴

➤ **Válvula de recirculación.** Tan pronto como exista peligro de bombeo (surge) como consecuencia de un caudal bajo, el control de la unidad abre la válvula de recirculación en la medida en que sea necesario. De este modo, se recircula el gas de proceso, a través de la tubería de recirculación, desde el lado de impulsión hacia el lado de succión de la máquina aumentando su caudal.

Las unidades de compresión cuentan con un contador de los eventos de surge, el cual registra cada momento en que la máquina es llevada al límite de surge, lo cual permite llevar un mejor monitoreo de esta condición. Es de tener en cuenta que la unidad siempre tratara de mover su operación al campo más óptimo de su desempeño, por lo cual la válvula Antisurge cumple un papel bastante importante, tanto para la operación, como para la protección de la misma máquina.

¹⁴Tomado de <https://fbancoff.wordpress.com/2015/05/24/valvulas-anti-bombeo-o-surge/> (fecha de consulta: Septiembre 2016).

Figura 14. Válvula de recirculación (Antisurge) ECGSB.



3.3.5. Sistema de gas refrigerante.¹⁵ El sistema de gas refrigerante desempeña las siguientes funciones:

- ✓ Refrigeración de los cojinetes magnéticos de la máquina, así como de los devanados del motor de accionamiento por disipación del calor que se genera.
- ✓ Evita la penetración de gas de proceso sin filtrar a los cojinetes magnéticos y al motor de accionamiento por generación de una contrapresión.

El gas refrigerante se toma de la primera etapa de compresión. El gas refrigerante calentado vuelve al colector de succión a través de una tubería de retorno. El sistema de gas refrigerante está integrado por los siguientes conjuntos:

- **Filtro de gas refrigerante y buffer gas.** El filtro de gas refrigerante y de buffer gas sirve para limpiar el gas refrigerante, evitando así la penetración de suciedad al sistema y, por tanto, las anomalías funcionales de los cojinetes magnéticos. El grado de ensuciamiento se monitorea mediante un instrumento que mide la presión diferencial entre entrada y salida del filtro. Al superarse el valor límite, el sistema de monitoreo dispara una alarma. El cartucho filtrante dispone de una tubería de evacuación permanente con diafragma a través de la cual se retorna hacia el flujo de gas el condensado que se genera. Una segunda válvula de evacuación en el fondo del cartucho filtrante facilita la limpieza. El bypass de la válvula de evacuación asegura la alimentación de gas refrigerante de la máquina

¹⁵ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. MAN Diesel & Turbo | Instructivo de servicio | Unidad de máquinas | Sabana | Bogotá, Septiembre de 2016.

propriadamente dicha durante el mantenimiento del filtro sucio. El mantenimiento del filtro de gas refrigerante debe hacerse en lo posible con la unidad detenida.

Figura 15. Filtro de gas refrigerante unidades de compresión ECGSB.



➤ **Válvula reguladora de gas refrigerante.**¹⁶ La válvula reguladora de gas refrigerante regula la presión y el caudal de gas refrigerante hacia el motor de accionamiento. La tubería de derivación de la válvula reguladora permite el flujo de un caudal mínimo a través del motor de accionamiento para hacer posible en todo caso una medición de la temperatura en la salida.

Figura 16. Válvula reciclo gas refrigerante unidades de compresión ECGSB.



¹⁶ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. MAN Diesel & Turbo | Instructivo de servicio | Unidad de máquinas | Sabana | Bogotá, Septiembre de 2016.

3.3.6. Variadores de frecuencia (VFD). Para el accionamiento y control de velocidad variable de motores MOPICO (modelo M33), se usa un variador de velocidad por control de frecuencia VFD ACS 5000.

Figura 17. Variador de frecuencia (VFD) ECGSB.



El convertidor de frecuencia (VFD) convierte la corriente nominal de entrada de las maquinas en una corriente de frecuencia variable. De este modo, el motor de accionamiento puede funcionar a velocidad variable.

Algunas características del variador de frecuencia:

- ✓ Inversor de tensión, libre de fusibles y multinivel (VSI-MF).
- ✓ Plataforma de control de torque directo (DTC).
- ✓ Semiconductores de potencia IGCT (Tiristores conmutadores de compuerta integrada).
- ✓ Unidad de control COU
- ✓ Unidad de enfriamiento por agua.

A continuación se presenta el diagrama de bloques típico del variador de frecuencia de las unidades de compresión de la estación de compresión de gas La Sabana, en el cual se puede apreciar de manera sencilla el flujo de la operación de los componentes que integran el equipo como tal.

Además, se realizara una descripción de los principales componentes que hacen parte de los variadores de frecuencia VFD.

Figura 18. Diagrama de bloques típico del VFD – ASC5000.

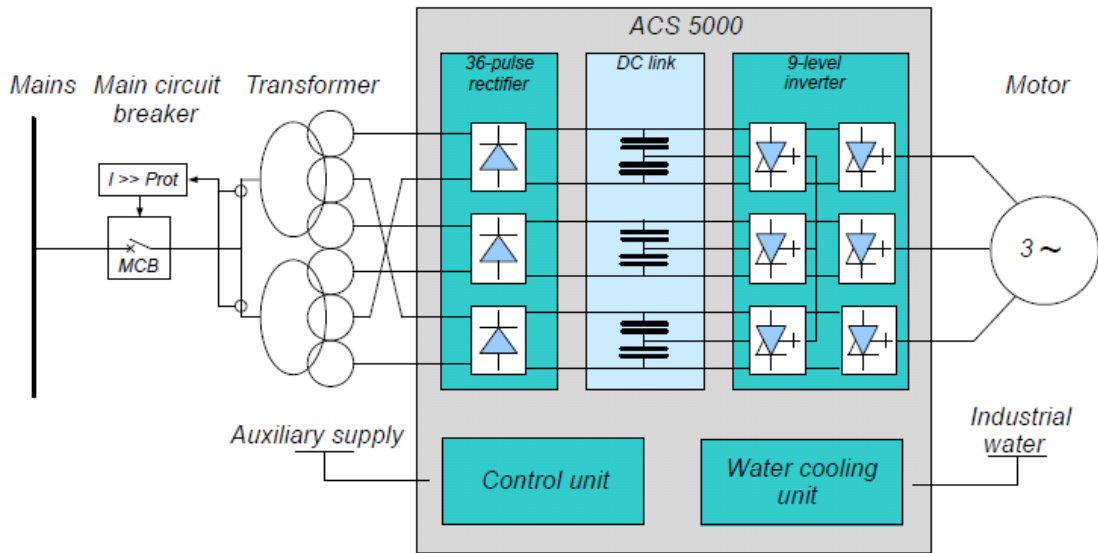


ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual.

- **VSI-MF.**¹⁷ El diseño VSI emplea condensadores DC-Link y proporciona una forma de onda de tensión conmutada. Como resultado de la topología multinivel, la unidad produce un número óptimo de niveles de conmutación (9 niveles), fase a fase. La forma de onda de salida resultante permite la aplicación de la norma para motores, sin disminuir la fiabilidad y la eficiencia del motor.

Figura 19. Principio de la topología multinivel (9 niveles).

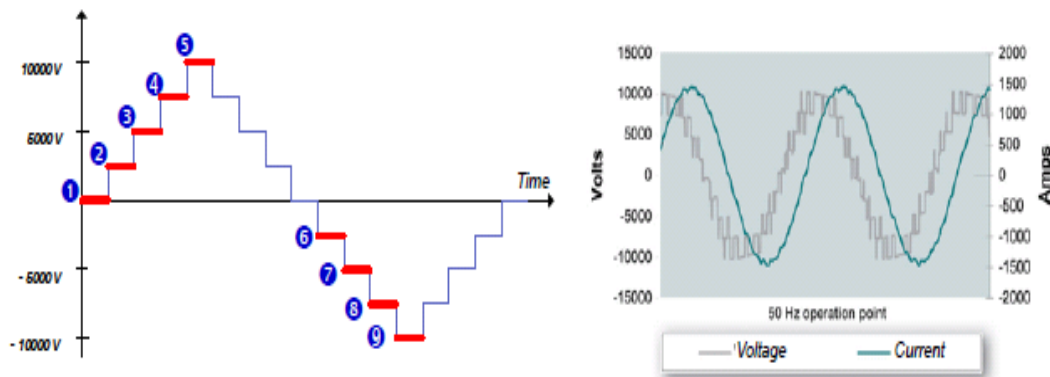


ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual.

¹⁷ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual. Bogotá, Septiembre 2016.

➤ **DTC.**¹⁸ El control directo de torque (DTC) es un método optimizado de control para variadores de frecuencia, desarrollado por ABB, que permite el control directo del torque y el flujo de corriente del motor. DTC permite lo siguiente:

- ✓ Control preciso de la velocidad y el torque.
- ✓ Tiempos de respuesta de torque hasta diez veces más rápido que los métodos convencionales de control que usan vector de flujo o modulación de ancho de pulsos (PWM).
- ✓ Formas de onda de corriente de salida suave que resulta en el mínimo rizado de torque.

Figura 20. Principio de funcionamiento DTC.

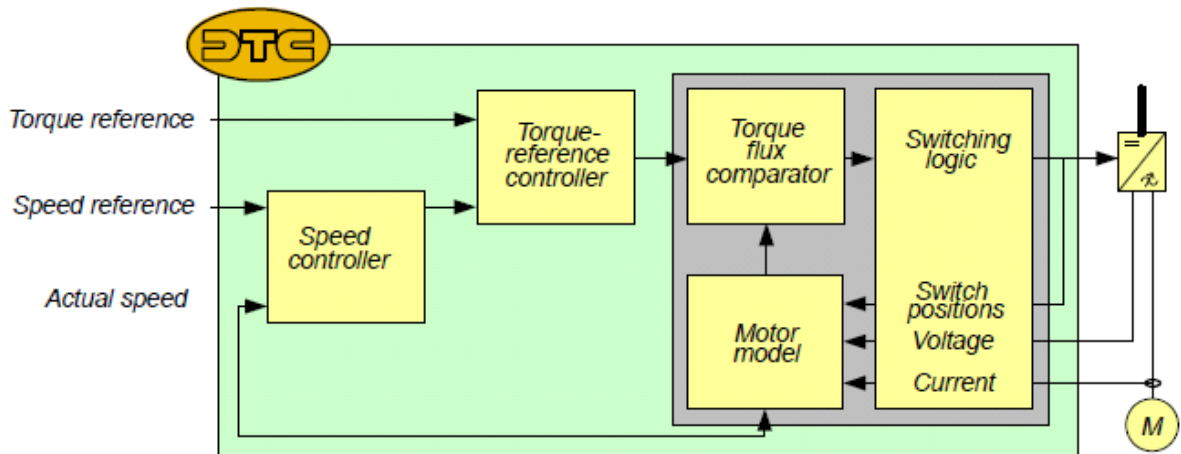


ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual.

En lugar de la conmutación de un patrón predeterminado como en las unidades de modulación por ancho de pulsos, DTC determina cada conmutación por separado, basado en los valores de torque y flujo efectivos.

Las corrientes del motor medidas y los voltajes del DC-Link son entradas a un modelo adaptativo el cual calcula los valores de torque y flujo exactos, basándose en los valores de referencia de flujo y torque tomados del controlador.

Dependiendo de las salidas de los controladores de histéresis, la lógica de conmutación determina directamente las posiciones de conmutación óptimas del inversor cada 50 μ s.

¹⁸ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual. Bogotá, Septiembre 2016.

Mientras que en las unidades que utilizan la modulación por ancho de pulsos, la conmutación solo se realiza en patrones, teniendo como resultado tiempos de respuesta más lentos.

➤ **IGCT (Tiristores conmutadores de compuerta integrada).**

Figura 21. IGCT - Tiristores conmutadores de compuerta integrada.



ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual.

Los IGCT, son utilizados como dispositivos de conmutación en la sección de inversores en las unidades de conversión de fase. Los IGCT combinan la capacidad de conmutación rápida con bajas pérdidas y con un diseño compacto que usa pocos componentes.

➤ **Unidad de Control (COU).**¹⁹ La unidad de control consiste de tres partes:

- ✓ Sección de Control.
- ✓ Sección HMI.
- ✓ Sección de Fuerza, incluye filtros de salida, terminales de motor, Transformador de carga, Filtro EAF.

La sección de control incorpora el hardware para funciones de control, vigilancia y protección de la unidad. También incluye las interfaces de seguridad de las puertas instaladas en los diferentes paneles de control CDP y de un sistema de control de proceso de nivel superior.

➤ **Unidad de enfriamiento por agua.** Para la refrigeración de cada uno de los sistemas principales de los variadores de frecuencia, se cuenta con un sistema de enfriamiento por agua el cual utiliza agua desionizada. El sistema cuenta con dos

¹⁹ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual. Bogotá, Septiembre 2016.

bombas centrifugas, dos tanques de expansión, una vasija des aireadora, una unidad de deionización por resina, el cual permite des ionizar el agua del sistema. Adicional a lo anterior, se cuenta con un equipo externo el cual realiza la refrigeración del agua, el Fin Fan Cooler.

El principio de funcionamiento del sistema de refrigeración se basa en la recirculación del agua enfriada por todo el sistema, pasando previamente por el desionizador, el cual baja la conductividad del agua hasta los valores permisibles (0,2 μ Siemens) de conductividad. El agua caliente que sale del sistema es conducida hacia el fin fan cooler quien se encarga distribuir el agua por una serie de tuberías capilares y así retirar el calor de la misma usando cuatro ventiladores independientes. Luego, el agua vuelve al sistema entrando previamente al desionizador de la unidad, para así comenzar el ciclo de nuevo.

Figura 22. Unidad de enfriamiento del agua VFD ECGSB.



Figura 23. Fin Fan Cooler VFD ECGSB.



3.3.7. UCP (Tablero de control unidades de compresión). Cada uno de los trenes de compresión de la ECGSB cuenta con un sistema de control integrado, el cual permite la operación y monitoreo continuo de todas las variables que hacen posible el funcionamiento de la máquina.

La UCP centraliza las señales de control de los diferentes sistemas encargados del funcionamiento de la unidad como lo son, cojinetes magnéticos (S2M), variadores de frecuencia (VFD), el sistema de refrigeración de gas y la válvula anti-surge. Además, mantiene comunicación directa con sistema de control distribuido (DCS), y el sistema de emergencia (ESD) de la estación en general.

La UCP está encargada de monitorear paso a paso la secuencia de puesta en servicio del compresor, teniendo en cuenta la respuesta recibida de cada una de las variables que hacen posible el arranque del compresor.

Esta unidad cuenta con una interfaz hombre – máquina (HMI), el cual permite la creación de tendencias a todas las variables del compresor, además de permitir el seguimiento de estado general tanto de las señales de los cojinetes magnéticos como del variador de frecuencia VFD.

Figura 24. UCP - Tablero de control unidades de compresión.



Las UCP de cada compresor, controla la activación de las válvulas de aislamiento y presurización de a máquina. En la línea de succión de las maquinas se ubican las válvulas SDV-101 (18”) y SDV-102 (1,5”) para el compresor 1, y SDV-301 (18”) y SDV-302 (1,5”) para el compresor 2. Estas válvulas permiten la presurización de

la succión de la unidad, hasta la primera etapa de compresión. En la línea de descarga de las unidades se ubican las válvulas SDV-133(16") y SDV-134(2") para el compresor 1, y SDV-333 (16") y SDV-334 (2") para el compresor 2. Estas válvulas permiten la presurización de la unidad desde la línea de descarga hasta la salida de la primera etapa de compresión. Desde la derivación del spool de descarga de cada máquina, que dirige el gas a las válvulas Antisurge, y después de estas, se encuentran las válvulas SDV-132 para el compresor 1 y SDV-332 para el compresor 2. Estas válvulas cumplen la función de aislamiento de la maquina desde la línea de surge, y se abren únicamente cuando la unidad de compresión está en funcionamiento. Su activación se da cuando ocurren eventos de emergencia general de la máquina, o cuando la UCP ordena apagar el compresor que se encuentre en funcionamiento. Las válvulas BDV-136 y BDV-336 reciben control de las UCP de cada compresor en el sentido de que estas válvulas entran a modo seguro, cuando el compresor recibe o detecta una señal que requiera la despresurización del compresor. Las mencionadas válvulas están también sujetas también al sistema de emergencia ESD de la estación.

La filosofía de operación de las UCP está centrada en la protección de las personas y el equipo, por lo que en cada secuencia de arranque, monitorea todas las señales provenientes del área de proceso, y todas las señales de los equipos base (S2M, VFD, etc.), para permitir la activación del motor, solo cuando se cumplan todos los parámetros preestablecidos como "normales" para la operación de la estación. Si existe algún parámetro fuera de su setting, la unidad no da permisivo de arranque hasta que este se subsane o sea corregido.

Los controladores FIC-108 (Compresor 1) y FIC-308 (Compresor 2), permiten el control de las válvulas Antisurge, basados siempre en las señales recibidas desde la instrumentación en campo.

La UCP cuenta con un contador de eventos de surge el cual lleva la trazabilidad de los eventos de surge que hayan ocurrido en la máquina, es decir, las veces en que las válvulas Antisurge debieron entrar en operación.

Adicionalmente las UCP reciben comunicación del computador de flujo de la estación FQY-240, con el fin de asegurar que el flujo deseado de operación se mantenga, manteniendo y monitoreando la operación de las unidades de compresión.

3.4. SISTEMA DE DESPACHO DE GAS.

Luego de que el gas es comprimido por cada compresor, este se dirige por una línea de 16", la cual se divide en dos, una línea (reducida a 12") se dirige hacia la válvula Antisurge (salida a 18"), la cual lleva el gas comprimido de regreso hacia

el cabezal de succión (entrada al filtro HFS-001), previamente pasando por la válvula SVD-132 o SDV-332, dependiendo del compresor que se encuentre en funcionamiento. Cabe anotar, que el gas que pasa por las SDV anteriormente mencionadas, tiene, posterior a la válvula, un recorrido por un spool subterráneo de 16" de diámetro y de una extensión de 70 m aprox., tanto de ida como de regreso, con el fin de bajar la temperatura del gas cuando la válvula Antisurge está en funcionamiento.

La otra línea se dirige hacia el cabezal de descarga. En esta línea se encuentran el medidor de flujo de descarga FIT-204, con su enderezador de flujo y la instrumentación asociada al mismo. Más adelante se encuentra una válvula de bola de 20" con actuador neumático de simple efecto (SDV-707). Esta válvula está asociada al sistema de emergencia de la estación, y actúa cuando se presenta una parada de emergencia de la estación (Shutdown). La posición de esta válvula es normalmente abierta. Esta válvula cuenta con una válvula de bola de 20" con actuador manual, (volanta), BA-050, y sirve como respaldo mecánico cuando se requiera despresurizar la estación de compresión. Su posición es normalmente abierta. Posteriormente hay una válvula cheque CK-059. Finalmente el gas se dirige hacia el bunker de interconexión con el gasoducto de la sabana.

Paralela a la válvula SDV-707, se encuentra una línea de 2" de diámetro y cuenta con una válvula de bola con actuador neumático de simple efecto (SDV-708), la cual cumple la función de presurización de la estación, en la línea de descarga, y su posición en operación es normalmente cerrada. La apertura de esta válvula se da únicamente al momento de presurizar la estación, y se cierra al momento de que la válvula SDV-707 se encuentre abierta.

Figura 25. Válvulas SDV-707, SDV-708 y BA-050 ECGSB.



3.5. SISTEMA DE BLOWDOWN Y VENDEO.

El objetivo del sistema de Blowdown de la ECGSB es realizar la despresurización de la estación de compresión, ya sea de manera total, o sectorizada por unidad de compresión.

La despresurización de la estación se da principalmente en eventos de emergencia, el cual requiera que se desaloje el gas contenido en toda la tubería de proceso de la estación, o bien, por la necesidad de despresurización de alguna de las unidades de compresión, también en un evento de emergencia. El sistema de Blowdown está sujeto a la activación previa del sistema de Shutdown de la estación, el cual aísla la estación y/o cada unidad de compresión.

El sistema de Blowdown se compone principalmente de las válvulas BDV, ubicadas en las líneas principales del sistema de succión (salida HFS-001) y descarga de la estación, y en las líneas de descarga de las unidades de compresión. Además de lo anterior, están contempladas en este sistema, las válvulas TSV (Válvulas de alivio de sobrepresión) ubicadas en cada una de los sistemas de gas refrigerante de las unidades de compresión, y en el filtro coalescente HFS-001.

Figura 26. Válvula de Blowdown BDV-704 (Sistema de succión) ECGSB



En la línea principal de venteo de la estación, se encuentra ubicado el medidor de flujo FIT-722, junto con su respectiva instrumentación y enderezador de flujo, el cual registra los volúmenes de gas que son enviados al venteo en los eventos de

emergencia. Asimismo, en la línea de venteo se encuentra ubicado un equipo arresta llama FA-723.

Todas las emisiones a la atmósfera son realizadas mediante una unidad de venteo atmosférico SB-VT-01, el cual tiene una altura de 17 m y está encerrado arquitectónicamente para no comprometer el paisajismo característico de la estación. Las emisiones realizadas, son reportadas al sistema DCS, donde se deja constancia del evento, condiciones y parámetros del gas evacuado (flujo, presión, temperatura, volumen) de manera continua durante el periodo que dure la despresurización de la estación.

Es de tener en cuenta debido a la tecnología utilizada para el proceso de la estación, los venteos atmosféricos solo ocurren en el evento de emergencia, o para desarrollo de labores de mantenimiento del filtro coalescente HFS-001.

Figura 27. Venteo atmosférico SB-VT-01. ECGSB



3.6. SISTEMA DE MEDICION DE GAS.

La estación de compresión de gas de La Sabana cuenta con dos medidores ultrasónicos de flujo, los cuales se encuentran ubicados uno en la línea principal de descarga de la estación, y el otro en la línea de venteo.

Se tuvo en cuenta para su construcción únicamente estos dos medidores, gracias a que la tecnología utilizada para la operación de la estación, no requiere que se despresuricen las maquinas después de apagadas, no hay quema constante en el venteo pues no se cuenta con TEA, y que las unidades no requieren gas combustible para su funcionamiento. Por lo tanto, se entiende que el volumen de gas que ingresa a la estación, es el mismo volumen de gas que sale y es despachado al gasoducto.

La medición en la línea de venteo se contempla debido a que por labores de mantenimiento en el filtro HFS-001, en las unidades de compresión, o en algún tramo o válvula de procesos, se requiere que sea evacuado el gas, por lo tanto hay que medirlo. Además, se cuantifica el gas que se evacua en el venteo cuando se presente un evento de Blowdown en la estación.

Los medidores de flujo son de tipo ultrasónico, y estos cuentan con medición de presión y temperatura de proceso, para realizar la respectiva corrección de flujo y entregar el dato en condiciones estándar.

Las señales de los dos equipos se centralizan un computador de flujo, el cual registra los volúmenes de gas medido tanto en proceso como en venteo.

➤ **Sistema de medición de descarga.** El sistema de medición de la línea de descarga de la ECGSB cuenta con el medidor de flujo tipo ultrasónico FIT-240 modelo FlowSIC 600. Además, esta línea cuenta con el enderezador de flujo FX-295, el cual permite acondicionar el perfil de flujo, antes de que entre al medidor.

El transmisor de presión PIT-241 y el transmisor de temperatura TIT-242, se encargan de llevar los datos de presión y temperatura de proceso al computador de flujo FQY-240, quien se encarga de realizar la corrección de flujo para entregar la medición en condiciones estándar (MSCFD).

Figura 28. Medidor de flujo FIT-240 línea de descarga. ECGSB



El computador de flujo FQY-240 está conectado al sistema de control DCS de la estación, y envía el dato de medición de descarga, a cada una de las UCP de las unidades de compresión, esto con el fin que las mismas automáticamente mantengan un flujo constante previamente establecido desde el sistema de control.

➤ **Sistema de medición de venteo.** El sistema de medición de venteo de la ECGSB cuenta con un medidor de flujo tipo ultrasónico FIT-722, modelo FlowSIC100 Flare gas. Este medidor está compuesto por dos transductores piezoeléctricos inteligentes y enfrentados que realizan la medición del flujo de gas por medición de la velocidad de transito de pulsos y la velocidad del gas.

En la línea de venteo, antes del medidor se ubica el enderezador de flujo FX-290, y junto al medidor, se ubican los transmisores PIT-721 para la medición de presión y el TIT-720 para la medición de temperatura, datos que son centralizados en el computador de flujo FQY-240. El computador de flujo realiza la corrección de presión y temperatura para entregar la medición en condiciones estándar (MSCFD).

Cabe resaltar que este medidor cuenta con una CPU propia quien recibe los datos de cada uno de los transductores.

Figura 29. Medidor de flujo FIT-722 línea de venteo. ECGSB



3.7. SISTEMA DE FIRE & GAS.

La estación de compresión de gas de La Sabana cuenta con un sistema de seguridad el cual monitorea en tiempo real todos los sistemas y procesos de la estación, y activa el sistema de parada (Shutdown) y/o parada más venteo (Shutdown + Blowdown). Este sistema es el sistema de Fire & Gas (F&G).

El sistema F&G cuenta con un controlador EQP, independiente de los sistemas de control DCS, el sistema de emergencias ESD y de las UCP de los compresores. Sin embargo, la EQP envía señales de activación al sistema ESD en caso de presentarse algún evento de emergencia.

El sistema F&G está encargado del monitoreo de gas y fuego en el área de procesos, para lo cual cuenta con una serie de detectores de gas y detectores de fuego, los cuales están monitoreando todas las áreas de compresión y el bunker de interconexión del gasoducto. Además se cuenta con una serie de detectores de humo en los diferentes edificios de la estación de compresión. Existe detectores térmicos tanto lineales como puntuales, los cuales detectan temperaturas altas (fuera de lo normal) en equipos auxiliares de la estación. La estación cuenta con un sensor detector de hidrogeno el cual está ubicado en el cuarto de baterías de la UPS, con el fin de monitorear la posible presencia de hidrogeno en el ambiente, esto, por una posible fuga del componente de las baterías del sistema de respaldo.

Este sistema cuenta también con estaciones manuales de activación, las cuales permiten al operador activar el sistema en caso de hallar una condición insegura o algún evento de emergencia. Además existe una serie de alarmas tanto sonoras, visuales y audiovisuales, las cuales permiten activar el procedimiento de emergencias de la estación.

A continuación se listan los detectores, estaciones manuales de activación y alarmas del sistema de F&G de la ECGSB, junto con el respectivo TAG y ubicación.

Tabla 5. Detectores de gas metano instalados en la ECGSB.

DETECTORES DE GAS METANO	
TAG	UBICACIÓN
SB-NG-01	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-01)
SB-NG-02	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-01)
SB-NG-03	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-02)
SB-NG-04	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-02)
SB-NG-05	Shelter unidades de compresión (Tuberías de proceso)
SB-NG-06	Shelter unidades de compresión (Tuberías de proceso)
SB-NG-07	Shelter unidades de compresión (Filtro coalescente SB-HFS-01)
SB-NG-08	Bunker de válvulas de interconexión

Dossier Construcción ECGSB.

Los detectores de gas metano utilizados en la ECGSB son detectores de gases infrarrojos de tipo puntual por difusión, que supervisan continuamente las concentraciones de gases de hidrocarburos en un rango de 0 a 100% del nivel mínimo inflamable (LFL).

Figura 30. Detector de gas metano SB-NG-04 ECGSB.



Tabla 6. Detectores de llama infrarrojos instalados en la ECGSB.

DETECTORES DE LLAMA	
TAG	UBICACIÓN
SB-FD-01	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-02)
SB-FD-02	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-01)
SB-FD-03	Shelter unidades de compresión (Filtro coalescente SB-HFS-01)
SB-FD-04	Shelter unidades de compresión (Proceso SB-CP-02)
SB-FD-05	Bunker de válvulas de interconexión

Dossier Construcción ECGSB.

Los detectores de llama instalados en la ECGSB son de tipo infrarrojo (IR) multiespectro que ofrece funciones de detección de fuegos generados por combustibles de hidrocarburos. El detector ofrece calificaciones a prueba de explosiones por divisiones y zonas y es apto para el uso en interiores y exteriores.

El detector contiene tres sensores IR con sus correspondientes circuitos de procesamiento de señal.

Figura 31. Detector de fuego SB-FD-03 ECGSB.



Tabla 7. Detector de Hidrogeno instalado en la ECGSB.

DETECTOR DE HIDROGENO	
TAG	UBICACIÓN
SB-NG-09	Cuarto de baterías UPS

Dossier Construcción ECGSB.

Figura 32. Detector de Hidrogeno ECGSB.



Tabla 8. Detectores térmicos instalados en la ECGSB.

DETECTORES TERMICOS	
TAG	UBICACIÓN
SB-DT-01	Cafetería (Direccionable)
SB-LHD-01	Transformador SB-TR-101 (Lineal)
SB-LHD-02	Transformador SB-TR-301 (Lineal)
SB-DTP-01	Generador de emergencia SB-GE-01 (Puntual)

Dossier Construcción ECGSB.

Los detectores de calor lineales están compuestos por dos conductores de acero individualmente encerrados en un polímero sensible al calor. Los conductores encajados se retuercen entre sí para imponer una presión de resorte entre ellos, luego se enrollan en espiral con una cinta protectora y se terminan con una cubierta exterior para adaptarse al entorno de instalación.

Figura 33. Detectores térmicos ECGSB. (Izq., puntual. Der. Lineal)



Tabla 9. Detectores de humo instalados en la ECGSB.

DETECTORES DE HUMO			
TAG	UBICACIÓN	TAG	UBICACIÓN
SB-SMK-01	Sala de operadores	SB-SMK-07	Sistema de aire acondicionado
SB-SMK-02	Cuarto de tableros de control	SB-SMK-08	
SB-SMK-03		SB-SMK-09	
SB-SMK-04	Cuarto variador SB-VSD-01	SB-SMK-10	Sistema de aire comprimido
SB-SMK-05		SB-SMK-11	
SB-SMK-06		SB-SMK-12	

Continúa...

Continúa Tabla 9. Detectores de humo instalados en la ECGSB.

SB-SMK-13	Cuarto variador SB-VSD-02	SB-SMK-18	Laboratorio.
SB-SMK-14		SB-SMK-19	Tableros de baja tensión
SB-SMK-15		SB-SMK-20	
SB-SMK-16	Sala de reuniones	SB-SMK-21	Tableros de media tensión
SB-SMK-17	Almacén de repuestos	SB-SMK-22	

Dossier Construcción ECGSB.

Figura 34. Detector de humo SB-CMK-21 ECGSB.



El principio de detección de los detectores de humo es fotoeléctrico. Principalmente, el tipo de incendio asociado a las facilidades en donde se encuentran instalados los equipos, se caracteriza por el proceso de combustión del aislamiento de los cables y equipos. El tipo de fuego que se puede presentar se caracteriza por una lenta combustión inicial con alta producción de humos. Los detectores se encuentran instalados en áreas elevadas donde la probabilidad de acumulación de humos es alta, además de que conservan una separación mínima hacia los ductos de suministro y succión del HVAC.

Tabla 10. Estaciones manuales de activación instaladas en la ECGSB.

ESTACIONES MANUALES DE ACTIVACION	
TAG	UBICACIÓN
SB-EAM-01	Sala de operadores
SB-EAM-01	Exterior sala de reuniones
SB-EAM-01	Exterior tableros de media tensión
SB-MAC-01	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-02)
SB-MAC-01	Shelter unidades de compresión (Filtro SB-HFS-01)
SB-MAC-01	Exterior bunker de válvulas de interconexión

Dossier Construcción ECGSB.

Figura 35. Estaciones manuales de activación ECGSB. (Izq., MAC. Der. EMA)



Tabla 11. Alarmas sonoras, visuales y audiovisuales instaladas en la ECGSB.

ALARMAS SONORAS, VISUALES Y AUDIOVISUALES	
TAG	UBICACIÓN
SB-H-01	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-02)
SB-H-02	Shelter unidades de compresión (Filtro coalescente SB-HFS-01)
SB-SB-01	Shelter unidades de compresión (Compresor SB-CP-01)
SB-HSB-01	Sala de operadores
SB-HSB-02	Sistema de aire acondicionado/Cuarto variador SB-VSD-01
SB-HSB-03	Sistema de aire comprimido/Cuarto variador SB-VSD-02
SB-HSB-04	Sala de reuniones/Cafetería
SB-HSB-05	Tableros de media y baja tensión
SB-HSB-06	Sistema de generación eléctrica (Generador de emergencia)

Dossier Construcción ECGSB.

Figura 36. Alarmas ECGSB. (Izq., sonoras. Centro, visuales. Der., audiovisuales)



3.8. SISTEMAS DE CONTROL (DCS) Y DE EMERGENCIA (ESD).

Para el control y monitoreo de la estación de compresión La Sabana, se cuenta con dos controladores lógicos programables (PLC's), los cuales cumplen la función de recibir y enviar las diferentes señales desde y hacia la instrumentación de proceso, unidades de compresión y sistemas auxiliares, para permitir el correcto funcionamiento de la estación de compresión.

➤ **Sistema de control DCS.** La ECGSB cuenta con un controlador DeltaV Serie S (SQ), con fuente de alimentación y sistema de comunicación ambas redundantes, el cual se encarga de supervisar las variables de presión, flujo y temperaturas del proceso de gas, e integrar todos los sistemas de control asociados a la estación, como lo son el sistema de emergencia ESD, controlador del sistema de Fire & Gas y los equipos paquete de toda la estación.

Adicionalmente recibe información completa de cada uno de los compresores de gas para desplegar la información en las pantallas del operador (HMI) y transferir toda la información hacia el centro principal de control (CPC) de TGI S.A. ESP en Bogotá.

Las principales funciones del sistema de DCS de la estación son entre otros²⁰:

- ✓ Integración con todos los sistemas de ESD, F&G y equipos paquete de la estación.
- ✓ Monitorear las señales de flujo, hacer las correcciones por presión y temperatura y transferirla al compresor en operación para la ejecución del control de flujo requerido.
- ✓ Integración con el compresor de aire de la estación; gabinetes eléctricos como Switchgear, CCM y UPS para monitorear el estado de estos equipos.
- ✓ Control de nivel del filtro coalescente.
- ✓ Monitoreo de presiones diferenciales en filtro y válvulas de aislamiento.
- ✓ Reporte de alarmas y administración de históricos de la estación.

En la figura 37, se ilustran los gabinetes asociados a los PLC tanto de control (DCS, como de emergencia (ESD), instalados en la estación de compresión de gas La Sabana. Estos equipos cuentan con sus respectivos módulos de control (CPU), fuentes de poder, módulos I/O (entradas y salidas de señales) y con el switch de comunicación que permite interactuar entre los diferentes sistemas de control instalados (UCP, DCS, ESD, F&G, etc).

²⁰ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. 614539 Dossier Construcción. Cap. 1 Tomo 2. Bogotá, Noviembre 2016.

Figura 37. Tableros sistemas de control ECGSB (Izq. DCS. Der. ESD)



- **Sistema de emergencia ESD.** El sistema de parada por emergencia ESD (Emergency Shutdown) está compuesto por un PLC HIMatrix F60, el cual ejecuta las tareas pertinentes en el evento que alguna variable crítica se salga de su rango de operación segura.

La activación del sistema ESD comprende la orden de apagado de la unidad de compresión que se encuentre en operación. Igualmente, el cierre directo de las válvulas de Shutdown de proceso (SDV-003, SDV-004, SDV-707 y SDV-708) y la orden de cierre a las válvulas SDV a las UCP de cada uno de los compresores. Adicionalmente, y dependiendo del tipo de emergencia registrada, también el sistema envía la apertura de las válvulas de blowdown de proceso (BDV-031 y BDV-704). Las UCP de los compresores envían las señales de apertura a las válvulas BDV asociadas a los mismos.

Es de tener en cuenta que cuando la UCP de un compresor detecte un evento de Shutdown o de blowdown asociado únicamente a la unidad de compresión, esta ejecutará el proceso de apagado y aislamiento seguro solamente de la unidad en operación. Dependiendo de la naturaleza del evento, se ejecutará también el blowdown de la unidad. Esta situación no activará la operación del sistema de emergencia ESD de la estación.

El sistema de emergencia ESD envía un reporte al controlador DCS evidenciando todos los eventos de emergencia ocurridos ya sean de Shutdown o Blowdown. El DCS a su vez reporta tanto en el HMI del operador como en el CPC la ocurrencia de los mencionados eventos.

A continuación se relacionan a modo general lo eventos que desencadenan la activación del sistema de emergencia ESD:

- ✓ Alto diferencial de presión en el filtro coalescente SB-HFS-001 (presión mayor o igual a 5 psid).
- ✓ Falla en operación del sistema de control general de la estación (DCS).
- ✓ Falla en operación del sistema de Shutdown general de la estación (ESD)
- ✓ Detección de una concentración de gas superior al 40% del LEL reportada por cualquier detector de gas del sistema F&G.
- ✓ Detección de llama por cualquier detector de fuego del sistema F&G.
- ✓ Falla en operación del sistema Fire & Gas.
- ✓ Accionamiento de alguno de los pulsadores ubicados en campo, ya sea en el área de proceso, unidades de compresión, o portería de vigilancia. Se tienen en cuenta las estaciones manuales de activación asociadas al sistema F&G.
- ✓ Activación del pulsador digital desde el HMI del sistema de control DCS de la estación cuando lo realiza un operador (parada manual con despresurización).
- ✓ Activación del pulsador digital vía SCADA realizada por un operador o persona encargada desde el CPC en Bogotá.
- ✓ Pérdida de energía eléctrica en válvulas SDV o BDV, lo que conlleva a modo seguro a las válvulas.
- ✓ Falla en el suministro de aire de instrumentos por baja presión en el cabezal de distribución de aire o mal funcionamiento del sistema.
- ✓ Problemas de funcionamiento de las UCP de los compresores.
- ✓ Señal de alta-alta o baja-baja presión en el cabezal de entrada de la ECGSB
- ✓ Nivel alto-alto o bajo-bajo en cualquiera las cámaras de acumulación de líquidos del filtro coalescente SB-HFS-01.
- ✓ Señal de alta-alta presión en el cabezal de salida de la ECGSB
- ✓ Señal de alta caída de presión por unidad de tiempo en el cabezal de salida de la ECGSB (psi/min)
- ✓ Señal de alta-alta temperatura en el cabezal de salida de la ECGSB
- ✓ Nivel alto-alto de la vasija de recolección de condensados y drenajes
- ✓ Nivel bajo-bajo de la vasija de recolección de condensados y drenajes (su única acción es interrumpir la operación o inhibir el arranque de la bomba de transferencia de condensados y drenajes SB-P-01)
- ✓ Pérdida de comunicación con el CPC

Los valores de las variables del sistema de compresión fuera de los límites de operación permitidos ocasiona la despresurización solo del sistema de compresión.

Para reestablecer el sistema luego de un evento de parada de emergencia por Shutdown, es necesario accionar el botón digital dispuesto para tal fin, o presionar el botón ACK-ESD, el cual se encuentra en el gabinete del sistema de emergencia (ESD). De esta manera el sistema normaliza la falla registrada y dispone la estación para que sea nuevamente alineada para operación.

En caso de evento de Blowdown, para reestablecer el sistema, es necesario oprimir alguno de los botones mencionados anteriormente, sin embargo luego de que se ejecute esta acción, el sistema toma 1200 segundos (20 minutos) para rearmarse nuevamente y quedar a disposición para alineación.

3.9. SISTEMA ELECTRICO.

El sistema eléctrico de la estación de compresión de gas La Sabana tiene como objetivo suministrar el fluido eléctrico a todos los sistemas y subsistemas comprendidos de la Estación.

Según la tecnología dispuesta para las unidades de compresión, estas requieren un suministro continuo de energía mientras se encuentren en operación, lo que hace que el sistema eléctrico de la estación sea robusto y confiable.

Es de anotar que la ECGSB cuenta con sistema de respaldo eléctrico para todos los sistemas exceptuando a las unidades de compresión, es decir, la estación no se puede operar mientras no haya suministro de energía eléctrica de media tensión.

A continuación se describen a modo general los sistemas y subsistemas que lo conforman el sistema eléctrico de la ECGSB.

3.9.1. Sistema de proteccion y medicion. El sistema eléctrico de la ECGSB es alimentado a una tensión nominal de 34,5 Kv, energía que llega a un equipo de medida y protección denominado Switchgear.

El Switchgear está dividido en una celda de entrada, la cual recibe las líneas de media tensión que alimentan el sistema eléctrico; una celda de medición la cual contiene el medidor de energía que es consumida en la estación; tres celdas de salida, las cuales contienen los dispositivos de protección para las cargas principales de la estación. Una celda donde se alojan los transformadores de potencial, y una celda de reserva, la cual no está equipada y se dejó contemplada para futuras ampliaciones.

Las celdas de media tensión son blindadas del tipo Metalclad con aislamiento en aire, son resistentes al arco eléctrico, con interruptores extraíbles con medio de interrupción en vacío. Cada celda está dividida en tres compartimentos que alojan el circuito principal, interruptor extraíble y caja de baja tensión para los sistemas auxiliares y relés de protección. Todos estos compartimentos están separados por particiones metálicas. Todas las secciones de las celdas tienen la acometida y salida de cables por la parte inferior y el acceso por el frente y cuentan con ductos de desfogue de gases hacia la parte superior de las celdas.

Figura 38. Switchgear ECGSB.



Las celdas tienen enclavamientos mecánicos y eléctricos que impiden la inserción o extracción del interruptor cuando esté cerrado. Además cuentan con resistencias calentadoras de ambiente en la parte inferior de cada compartimento de cables y del interruptor, alimentadas con una tensión de 120 V desde una fuente externa, para evitar la condensación de humedad. El control de la temperatura interior y/o resistencias calefactoras se hace por medio de higrostatos/termóstatos ajustables.²¹

La celda de entrada, y las tres celdas de salida cuentan con un interruptor automático principal MCB, los cuales cumplen la función de protección de los circuitos asociados, es decir para las celdas de salida, protegen cada uno de los circuitos a la salida del interruptor, y para la celda de entrada, el interruptor MCB efectúa la protección de todo el sistema eléctrico en general.

Cada celda está monitoreada por relés modelo Multilin de la marca GE, los cuales supervisan las variables operativas de cada celda, y envían su estado al sistema de control DCS de la estación.

➤ **Distribución de cargas celdas de salida.** Las cargas de las celdas de salida se distribuyen de la siguiente manera:

✓ La celda S2+HS2 contiene el interruptor que alimenta el transformador polifásico SB-TR-101 el cual suministra la energía a la unidad de compresión 1. El

²¹ TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP
614539_Dossier_Construccion_Cap_1_Tomo_2, BOGOTÁ, NOVIEMBRE 2016.

control de este interruptor está regido únicamente por el variador de frecuencia VFD asociado a la unidad de compresión 1, es decir, que en el procedimiento de arranque y puesta en operación de la unidad 1, es el VFD de esta unidad quien envía la señal de enclavamiento para que el interruptor se active y permita el paso de energía hacia el mismo variador.

✓ La celda S3+HS3 contiene el interruptor que alimenta el transformador polifásico SB-TR-301 el cual suministra la energía a la unidad de compresión 2. El control de este interruptor está regido únicamente por el variador de frecuencia VFD asociado a la unidad de compresión 2, es decir, que en el procedimiento de arranque y puesta en operación de la unidad 2, es el VFD de esta unidad quien envía la señal de enclavamiento para que el interruptor se active y permita el paso de energía hacia el mismo variador.

✓ La celda S4+HS4 contiene el interruptor que alimenta el transformador de servicios auxiliares SB-TR-01 el cual suministra energía a todos los sistemas de la estación.

3.9.2. Sistema de distribución. El sistema eléctrico en general se distribuye en tres grandes cargas, las cuales dos de ellas están asociadas directamente a las unidades de compresión.

Figura 39. Transformador de voltaje multidevanado SB-TR-101 ECGSB.



Los transformadores SB-TR-101 y SB-TR-301 son los encargados de suministrar el voltaje a los variadores de frecuencia VFD de cada una de las unidades de compresión, y este último realiza los cambios necesarios en la frecuencia de estos niveles de tensión recibidos, para proporcionar velocidad al motor de cada compresor.

Estos transformadores son de tipo seco multidevanado con núcleo primario de 34,5 KV y con núcleo secundario de 6 salidas de 1638 V cada salida.

La activación de cada equipo la da únicamente el variador de frecuencia VFD de la unidad de compresión, y lo hace por medio de la activación de las celdas de Switchgear para el compresor que vaya a operar.

La temperatura de cada transformador cuenta con un controlador el cual registra la temperatura al interior de los devanados, y según la temperatura de estos, el controlador ordena el encendido a cinco ventiladores para ejercer la extracción de calor del transformador. Si luego de encendidos los extractores de calor, la temperatura continua subiendo, el controlador envía una señal de alarma al VFD. Si aún continúa aumentando la temperatura, se envía una señal de parada o *trip* al VFD para que este desactive el interruptor de la celda del Switchgear asociado y detenga la operación del transformador.

Tabla 12. Setting control de temperatura SB-TR-101 y SB-TR-301 ECGSB

ESTADO	VALOR (°C)
Encendido Ventiladores	65
Apagado ventiladores	50
Señal de alarma a VFD	90
Señal de parada a VFD	119

MAN Diesel & Turbo | Instructivo de servicio | Unidad de máquinas | Sabana |.

➤ **Cuarto de control de motores (CCM).** La tercera celda de cargas del Switchgear (S4+HS4) provee energía al transformador de servicios auxiliares SB-TR-01, el cual en el núcleo primario recibe 34,5 KV y en el secundario transforma a 480 V.

Este núcleo secundario va conectado a un equipo de distribución el cual se denomina CCM o cuarto de control de motores. Este equipo realiza la distribución de la energía eléctrica a todos los sistemas de la planta. Es de tener en cuenta que el nivel de energía de 480 V se distribuye a la mayoría de equipos asociados a la operación de las unidades de compresión, por ejemplo Fin-Fan cooler, extractores de calor transformadores multidevanados (SB-TR-101 y SB-tr-301), equipos de aire acondicionado o HVAC para los cuartos de los variadores de

frecuencia VFD de las unidades de compresión, y para el aire acondicionado de los cuartos de tableros de distribución.

Figura 40. Tablero de distribución 480v CCM, ECGSB.



Una de las cargas principales de 480 V es la línea que lleva la energía a un transformador seco de 480v a 208V, quien distribuye la energía para los sistemas de aires acondicionados de cuartos de control, tablero de cargas reguladas, iluminación, sistema de suministro de agua, entre otras.

Esta línea de 208 V cuenta con respaldo de energía eléctrica por parte del generador eléctrico de la estación SB-GE-01. Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando que los compresores de aire de la estación funcionan con suministro de 480V, desde el transformador de 208V, sale una línea de alimentación a un transformador elevador de voltaje a 480V con el fin de que los compresores de aire cuenten con respaldo eléctrico en el evento de falla de energía en el suministro. Esta consideración se da teniendo en cuenta que si el suministro de aire a la instrumentación falla, la estación entraría a un evento de Shutdown + blowdown, lo que ocasionaría despresurización de la estación de compresión.

El CCM se divide en dos gabinetes desde los cuales se distribuye la energía. Uno de estos tiene el control de todas las cargas alimentadas a 480 V. El otro gabinete controla los equipos que están alimentados a 208 V, además de que este cuenta con el equipo de transferencia eléctrica.

Figura 41. Tablero distribución 208 V y Transferencia Eléctrica CCM, ECGSB.



3.9.3. SISTEMA ININTERRUMPIDO DE POTENCIA (UPS).

Figura 42. Sistema ininterrumpido de potencia UPS, ECGSB.



La ECGSB cuenta con un sistema de respaldo eléctrico para las cargas críticas, en el evento en que exista un corte de energía, y mientras la transferencia eléctrica realiza la puesta en servicio del generador eléctrico. Este sistema es la UPS (Uninterruptible Power Supply). El sistema de respaldo eléctrico de la ECGSB cuenta con dos equipos de respaldo o UPS de marca Mitsubishi Electric.

Las UPS cuentan con una banco de baterías compuestas cada una por un rack de 30 baterías cada una sellada marca CSB-BATTERY CO. LTD. de referencia GP 12100 – 12V - 100AH. Son de plomo ácido, libres de mantenimiento y son dimensionadas para cumplir con el tiempo de respaldo de 2 horas a plena carga.

Figura 43. Rack de baterías UPS 's, ECGSB.



Los dos equipos son redundantes, lo que significa que en el evento en que se presente una falla en alguna de las dos UPS 's, el servicio de energía regulada no se ve interrumpido por la falla.

El principio de operación de las UPS 's se da según el criterio de carga da cada una. Además de esto, los equipos cuentan con cargadores rectificadores integrados lo que permite que las baterías se recarguen automáticamente sin necesidad de desconectar ninguna batería.

Las UPS 's alimentan un tablero de cargas reguladas el cual distribuye energía regulada a todos los sistemas considerados críticos en la estación (UCP's, DCS, ESD, F&G), además alimenta los sistemas de control del Switchgear, variadores VFD, cojinetes magnaticos S2M, entre otros. Este sistema permite la alimentación de tomacorrientes eléctricos regulados para el área de oficinas y cuarto de operaciones. Las UPS 's cuentan con comunicación con el DCS de la estación, el cual supervisa los parámetros operacionales de los equipos.

Figura 44. Tablero de cargas reguladas SB-TCR-01, ECGSB.



3.9.4. Sistema de respaldo eléctrico (generador eléctrico). La ECGSB cuenta con un generador eléctrico compuesto por un motor diésel Perkins acoplado a un generador Olympian. Su potencia es de 90 KVA, y está dispuesto para entrar en funcionamiento al momento de falla del suministro de energía eléctrica, y soportaría las cargas que son alimentadas a 208 V, además del sistema de compresión de aire.

El generador eléctrico SB-GE-01 se encuentra montado sobre un skid, en donde se encuentra un tanque inferior de almacenamiento de combustible que tiene una capacidad aproximada de 108 galones de diésel. Cuenta con una cabina de insonorización el cual aísla el ruido que genera el equipo al entrar en funcionamiento.

El sistema de control envía señales al DCS para realizar el monitoreo de sus variables operacionales.

El tiempo de transferencia está determinado por aproximadamente 10 segundos, que es el tiempo en que toma el motor en dar arranque y calentamiento a los sistemas propios del motor. Posterior a estos 10 segundos, la transferencia da paso a la carga, al generador. Cuando la energía de la red regresa, la transferencia eléctrica da paso inmediato de la carga hacia la red, sin embargo, el motor del generador eléctrico toma un tiempo de aproximadamente 15 segundos en apagarse teniendo en cuenta el tiempo de enfriamiento de los diferentes sistemas propios del equipo.

Figura 45. Generador eléctrico SB-GE-01, ECGSB.



El generador eléctrico automáticamente tiene una rutina de operación mensual, el cual permite mejorar la confiabilidad del equipo y mantener un registro óptimo de operación del sistema como tal.

3.9.5. Sistema de puesta a tierra y protección catódica. Las mallas de puesta a tierra de la ECGSB, se encuentran instaladas a 0.6 m de profundidad, más el área de los terraplenes dispuesta para cada malla instalada. El valor resultante de resistencia de puesta a tierra de la malla (1.46Ω), se encuentra por debajo del máximo determinado por el RETIE (10Ω) y se espera que no supere ese límite. La puesta a tierra de las bajantes de los pararrayos tiene instalada una Triada (tres varillas de cobre en configuración triángulo). La unión del sistema de puesta a tierra del pararrayos al sistema de puesta a tierra general de la locación se realiza a través de un pozo inspección el cual permite realizar las mediciones necesarias.

➤ **Sistema de protección catódica.** En la ECGSB se instaló un sistema de protección catódica para toda la tubería enterrada de la estación, que consta básicamente de la tubería de succión y descarga así como los venteos y el loop de enfriamiento de las válvulas Antisurge; a fin de contrarrestar la corrosión que eventualmente podría ocasionar fallas estructurales.

El sistema de protección catódica elimina cualquier efecto corrosivo adverso en la tubería enterrada de la estación, especialmente a la ubicada entre el bunker y el cuarto de compresores.

Se cuenta con un sistema de protección con ánodos galvánicos de magnesio compuestos de una mezcla estabilizadora (backfill) compuesta por Bentonita 20%, Sulfato de sodio 5%, y yeso 75%.

Figura 46. Estación de medición protección catódica ECGSB.



Para poder evaluar periódicamente la efectividad de la protección catódica, se cuenta con estaciones de prueba en donde se realizan las mediciones de tensión (potencial suelo–tubería) y/o corriente de protección.

3.10. SISTEMAS AUXILIARES.

Los sistemas auxiliares de la estación de compresión La Sabana están dispuestos para permitir la operación normal de la estación, y aunque no hacen parte del proceso de compresión como tal, son indispensables para el correcto funcionamiento de la estación.

3.10.1. Sistema de aire comprimido. Para la operación de toda la instrumentación neumática de la estación de compresión La Sabana (válvulas de Blowdown, Shutdown, etc.), se cuenta con un sistema de aire de instrumentos, el cual garantiza una presión constante de aire en la instrumentación mencionada. Además, se cuenta con un sistema de aire industrial el cual facilita las labores de mantenimiento de la estación, y se tiene acceso a este recurso en diferentes puntos y lugares de la estación de compresión.

El sistema de aire comprimido toma el aire del medio ambiente a presión natural, y lo dirige hacia los compresores SB-CA-01 y SB-CA-02 (uno en operación y el otro en stand-by), donde lo filtra y eleva su presión hasta 150 psig. Luego de que es elevada la presión, el aire pasa por unos filtros para eliminar partículas sólidas y líquidas que pueda contener. Posteriormente, el aire pasa por un secador (SB-DA-01/02) para finalmente ser almacenado en un drum para aire (SB-V-04), dispuesto para este fin.

Los compresores instalados en la ECGSB son de tipo tornillo, lubricado, de una potencia de 15 HP marca Atlas Copco, modelo GA11AP. Los secadores son de tipo regenerativo, igualmente de marca Atlas Copco modelo CD17+.

Figura 47. Skid sistema de compresores de aire ECGSB.



La secuencia de trabajo de los compresores se realiza de manera alternada, es decir, la operación de los mismos es aleatoria, y esta se rige dependiendo de las horas de operación de cada compresor.

El sistema de control del paquete de aire comprimido de la ECGSB cumple la función de asignar cuál de los dos compresores funciona como maestro y como esclavo. Esta rutina la ejecuta de manera mensual, alternando el uno y el otro

compresor. El estatus de esclavo o maestro se determina, según los setting configurados en la memoria de cada compresor, y el controlador únicamente asigna el estatus para cada equipo.

Es de tener en cuenta que al momento en que el compresor que se encuentra como maestro falle y no logre aumentar la presión hasta la presión normal de operación (150 psig), el compresor que está asignado como esclavo entra en funcionamiento, para respaldar al equipo averiado.

En el evento de falla de algún elemento del sistema de aire comprimido que cause que la presión del cabezal de distribución llegue a una presión menor o igual a 90 psig se activa la parada de emergencia (Emergency Shutdown) de la ECGSB, esto debido a que los elementos de control de la estación deben estar disponibles y operables en todo momento.

Figura 48. Tk. Pulmón aire comprimido SB-V-04, ECGSB.



El sistema de aire comprimido de la ECGSB cuenta con un tanque pulmón, para acumulación de aire (de instrumentos e industrial) con capacidad nominal de 466 gal disponibles para la operación continua y como reserva para la parada segura de la estación en caso de Shutdown. El tanque cuenta con protección de una válvula de alivio PSV, calibrada a 150 psi en caso de presentarse sobrepresión en el tanque.

Desde el Tk pulmón de almacenamiento, sale un cabezal que se distribuye en líneas de aire para instrumentos y aire industrial. Sobre el cabezal de aire industrial, se cuenta con una válvula manual de “back pressure” (PCV 052) con la cual se regula el suministro de aire industrial, con el fin de que al momento en que haya una caída de presión de aire, el suministro sea garantizado principalmente al sistema de aire de instrumentos, teniendo en cuenta que la prioridad esta para este último sistema.

La línea de aire de instrumentos cuenta igualmente con válvula back pressure para regular el suministro de aire a toda la instrumentación de la estación.

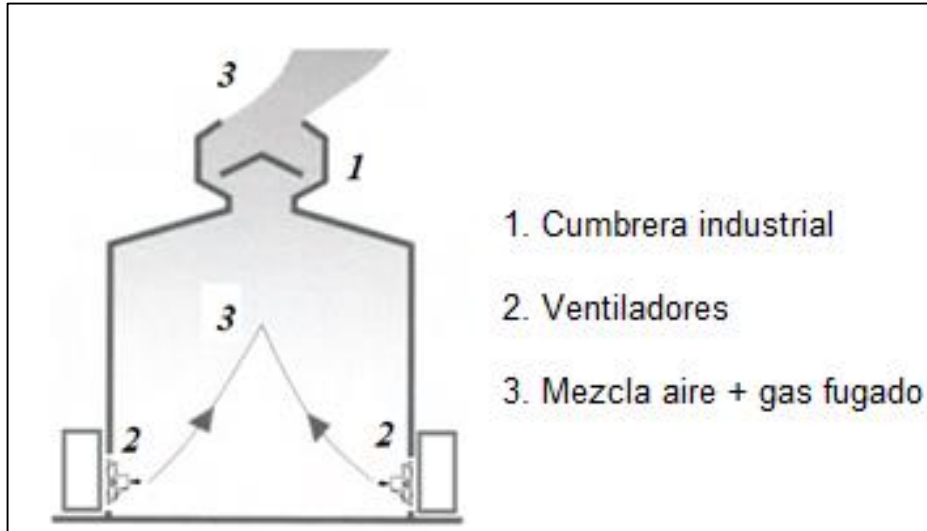
3.10.2. Sistema de ventilación forzada. El sistema de ventilación forzada tiene como función renovar el aire del Shelter de unidades de compresión y proceso, con el objetivo de diluir el gas de emisiones fugitivas que puedan presentarse, y disminuir los niveles de explosividad generados a causa de las mencionadas fugas.

Teniendo en cuenta que el gas posee una densidad más baja que el aire, este siempre tiene a elevarse cuando sale a la atmosfera, sin embargo, debido a que el Shelter de la estación es cerrado, existe la posibilidad que el gas se acumule en la parte superior del techo y en intersticios entre las vigas de soporte superiores.

El sistema de ventilación forzada crea mediante ventiladores una presión positiva dentro del Shelter, la cual obliga al gas fugado a dirigirse de manera rápida hacia la parte superior, donde se encuentra una cumbrera de ventilación industrial que permite el flujo de la mezcla de aire y gas fugado hacia el exterior, evitando la acumulación de gas.

El sistema de ventilación forzada cuenta con 4 ventiladores, los cuales cada uno cuenta con dos tomas de aire tipo *louver*. En el sistema de admisión de aire, se encuentran instaladas dos etapas de filtración, las cuales impiden que ingrese contaminación al Shelter. Los equipos cuentan con atenuadores de ruido, los cuales permiten disminuir a 33 db el nivel de ruido proveniente de las unidades de compresión desde el interior del Shelter.

Figura 49. Funcionamiento sistema de ventilación forzada, ECGSB.



Dossier Construcción ECGSB.

Teniendo en cuenta que la seguridad es un aspecto primordial en la operación y el mantenimiento de la estación, los equipos cuentan con rejillas *airfoil* verticales, las cuales dirigen el flujo de aire hacia las cumbres. Estas rejillas cuentan con compuerta de regulación de flujo ajustable desde la parte frontal y con marco adicional para la instalación de un filtro de ser requerido.

La operación del encendido del sistema de ventilación forzada de la ECGSB puede ser de manera manual o automática.

Para operar el sistema de manera manual, es necesario hacerlo desde el CCM en la celda de 480V, desde allí, se puede seleccionar cual ventilador activar, teniendo en cuenta siempre dejar en operación tres de los mismos, y uno en stand by. Además, los equipos se pueden también accionar desde el HMI del DCS, previamente seleccionando en la celda del CCM la opción de Remoto.

Al dejar el sistema de manera automática, el DCS con su lógica establece una rutina de operación de los ventiladores, la cual determina la operación de tres de los ventiladores iniciando siempre con los equipos SB-FAN-01/02 y 03, y dejando el SB-FAN-04 en stand by, por un lapso de 250 horas de operación. Luego de que se cumple el tiempo mencionado, el SB-FAN-01 se apaga y se arranca el SB-FAN-04. A las siguientes 250 horas, se apaga el SB-FAN-02, y arranca nuevamente al SB-FAN-01, y así sucesivamente hasta que todos los equipos tienen un lapso de parada de 250 horas.

Figura 50. Sistema de ventilación forzada (Izq. Filtros y atenuador; Der. Ventilador), ECGSB.



En el evento en que suceda una detección de fuego en el Shelter, desde el sistema de Fire & Gas, este último envía señal de parada al DCS para que detenga el sistema de ventilación forzada. Cuando el evento es subsanado, y es reestablecido el sistema, se enciende nuevamente el sistema de ventilación, reiniciando la secuencia con los SB-FAN-01/02 y 03 operando, y dejando el SB-FAN-04 en stand by.

3.10.3. Sistema de levantamiento de cargas. Para las labores de mantenimiento de la ECGSB, se cuenta con un sistema de levantamiento de cargas ubicado en el Shelter de unidades de compresión.

Este equipo o puente grúa, está conformado de dos rieles laterales ubicados a los costados de la estructura, y sobre estos se ubica un riel transversal el cual se desplaza a lo largo de todo el Shelter. En el riel transversal se ubica un carro monorriel el cual tiene un polipasto el cual ejecuta las labores de cargue. La capacidad total del puente grúa es de 10 toneladas.

La operación del puente grúa se realiza desde un mando manual, permitiendo la manipulación de todo el sistema según la necesidad.

Figura 51. Puente grúa, ECGSB.



3.10.4. Sistema de recolección de condensados y drenajes cerrados. El sistema de recolección de condensados y drenajes consta de un sistema de tuberías que recogen los condensados del filtro coalescente, unidades de compresión y puntos bajos en tuberías, y los dirigen hacia la vasija SB-V-03. Este sistema cuenta con una bomba neumática tipo diafragma SB-P-01, la cual se utiliza para que se transfieran los condensados almacenados en la vasija SB-V-03 hacia un camión de recolección para su disposición final.

Figura 52. Vasija de recolección de condensados SB-V-03, ECGSB.



La vasija de recolección de condensados se encuentra ubicada por debajo del nivel de suelo de la estación, y esta consta de un sistema de control de nivel, el cual tiene un transmisor de nivel, un switch de nivel y un manifold de válvulas para el direccionamiento de los condensados. Cabe aclarar que el transmisor de nivel LZIT-044, envía señal de parada de emergencia (Shutdown), al momento en que se alcance un nivel de 27" de condensados. El switch de nivel LSL-045, envía señal al DCS, para parar la bomba SB-P-01, esto para mantener un nivel mínimo en la vasija.

La vasija también cuenta con un indicador de presión y un indicador de temperatura, así como con un equipo arrestador de llamas.

Figura 53. Izq., Bomba SB-P-01. Der. Facilidades de recolección, pulsador HS-049 y pinza de puesta a tierra, ECGSB



El arranque y parada de la operación de la bomba se ejecutan desde el DCS de la estación.

Adicionalmente, el sistema cuenta con un pulsador de emergencia HS-049 cerca de la zona de cargue del camión de recolección para parada de emergencia de la bomba por parte del operador. Este pulsador actúa también como permisivo para arranque de la bomba, si se encuentra activo no se podrá dar arranque a la bomba desde el DCS de la estación.

La zona de cargue también cuenta con una pinza de puesta a tierra, que obliga a que la misma sea conectada al vehículo recolector, con el fin de la neutralización de cargas eléctricas. Si esta última no es conectada al camión, actuará como inhibidor de arranque de la bomba SB-P-01.

3.10.5. Sistema de aire acondicionado (HVAC). La ECGSB cuenta con un sistema de aire acondicionado autónomo y auto-regulado por medio de un sistema de enfriamiento evaporativo indirecto en el cuarto de control, los cuartos de variadores, los cuartos de tableros de media y baja tensión.

El sistema fue diseñado para lograr una temperatura de suministro constante a 12.7 °C máximo, cuando las condiciones exteriores están dentro de las temperaturas de diseño contempladas. Para esto se está utilizando un equipo de enfriamiento evaporativo indirecto que inyecta 100% aire exterior y lo enfría usando refrigerantes, sin que haya contacto del mismo con el aire, de esta manera se disminuye la temperatura del aire exterior sin aumentar su humedad absoluta y sin peligro de contaminación.

Adicionalmente se cuenta con áreas tales como, sala de juntas y sala de operadores las cuales se atienden con equipos mini Split, solo frío convencional.

3.10.6. Sistemas de aguas potable e industrial. El sistema de agua potable e industrial de la ECGSB, inicia en la acometida que se conecta a la red pública del sector. Esta acometida se encuentra en la entrada de la estación y cuenta con un medidor de flujo para contabilizar el consumo de agua de la misma. Por medio de esta tubería se efectúa el llenado del tanque de almacenamiento de agua.

El tanque de almacenamiento de agua es un tanque impermeable, hermético que se encuentra enterrado, el cual tiene una capacidad almacenamiento de 10 m³ de agua, lo que garantiza un volumen de reserva de agua potable para 12 días de servicio en caso de que no haya suministro en la red pública. Para control de su llenado, el tanque de almacenamiento cuenta con un sistema mecánico con flotador, el cual dependiendo de la altura de agua al interior del tanque permitirá o no la entrada de este líquido.

Para la distribución del agua se utiliza el sistema *hidroflo*, el cual es un sistema compuesto por dos motobombas (de idénticas características), tablero eléctrico de mando, un flotador mecánico y un tanque hidroalmacenador, cuya función es entregar de manera automática y sincronizada agua a la red de consumo de agua potable e industrial de la ECGSB a una presión constante de 80 psig.

La mayor parte del tiempo el sistema opera con la motobomba líder (motobomba número 1). Solo en caso de demandas máximas operará la motobomba de apoyo (motobomba número 2). Cuando el tanque de almacenamiento alcance su capacidad máxima de agua (500 L), el sistema hidroflo apagará automáticamente la motobomba y el suministro de agua hacia la red se realizará utilizando solo el tanque hidroalmacenador. Las motobombas del sistema hidroflo pueden permanecer fuera de operación, siempre y cuando el tanque hidroalmacenador contenga agua suficiente para suplir los requerimientos de la red.

Figura 54. Sistema Hidroflo ECGSB



En el evento en que se requiera gran cantidad de agua en la ECGSB, tal que se supere el caudal máximo entregado por la motobomba líder, entrará en operación la motobomba de apoyo. De esta forma operan las dos motobombas al mismo tiempo. En la medida en la que el consumo de agua de la ECGSB vaya disminuyendo, podrá salir de operación la motobomba de apoyo, seguido a esto la motobomba líder operará hasta el momento en que este equipo proporcione la cantidad de agua requerida.

3.10.7. Sistema de aguas lluvia. Las aguas lluvias de la estación se dispondrán por medio de un sistema de cunetas y tuberías independientes de los otros sistemas de desagüe (aguas servidas y aguas aceitosas). Las aguas lluvia de la vía de entrada y de las vías internas de la estación son conducidas en un solo sentido por cunetas paralelas hasta sumideros, desde allí las aguas se dirigen a los desarenadores donde se retiran los sólidos en suspensión. Después de los desarenadores, las aguas lluvia se dirigen por medio de descoles hacia cunetas que descargan el agua de forma controlada al cuerpo de agua existente dentro de la estación (reservorio). Las aguas lluvia de las cubiertas de las casetas y edificios se descargan directamente al piso y de allí se conducen por escorrentía superficial a las cunetas de las vías y zonas verdes de la estación.

El agua lluvia que se deposita dentro del dique de la vasija de recolección de condensados y drenajes (SB-V-03), se dirige hacia un desarenador, donde se asientan en el fondo la arena y los residuos sólidos que esta corriente de agua pueda traer asociados. Del desarenador se descarga el agua por medio de descoles al cuerpo de agua existente dentro de la estación (reservorio).

3.10.8. Sistema de aguas aceitosas. Dentro de la estación de compresión, las únicas fuentes de generación de aguas aceitosas son el evento de derrame de líquidos mientras se carga el camión de recolección de condensados (vehículo que realiza el vaciado de la vasija de condensados SB-V-03) o el derrame que pueda acontecer en la vasija como tal. En el evento de que se presente el primer caso, estos líquidos se dirigirán por medio del cárcamo ubicado en la zona de carga de este vehículo hacia una caja de recolección, de donde deben ser extraídos por medio de un camión de vacío.

Figura 55. Cárcamos de recolección de derrames zona de carga condensados ECGSB



En caso de que se presente derrame de líquidos de la vasija de SB-V-03, el operador debe cerrar la válvula de corte de flujo hacia el desarenador, permitiendo acumulación dentro del dique. Estos líquidos acumulados deben ser retirados con camión de vacío y el dique debe someterse a limpieza.

Figura 56. Válvula de corte drenajes dique vasija SB-V-03, ECGSB



4. FILOSOFIA DE OPERACIÓN DE LA ESTACION DE COMPRESION DE GAS DE LA SABANA.

Para ejecutar las rutinas pertinentes al encendido y puesta en operación de la estación de compresión de gas La Sabana, se requiere realizar un chequeo general con el fin de llevar la estación a una operación óptima y segura. Este chequeo generalmente se debe ejecutar cuando se haya realizado algún tipo de modificación a la ingeniería (adición, reemplazo o desmantelamiento). Se deben aplicar para dicho componente los procedimientos y protocolos de construcción, pre-comisionado y comisionado que correspondan. Las actividades de chequeo son detalladas a continuación.

- ✓ Verificar que todas las instalaciones se encuentren conforme a lo especificado en los P&IDs.
- ✓ Verificar que existan facilidades de drenajes en puntos bajos y de venteo en puntos altos (en caso de instalación de nuevos circuitos de tubería o de modificación de los circuitos de tubería existentes).
- ✓ Verificar que el arreglo de tuberías no forme bolsillos o sellos hidráulicos (en caso de instalación de nuevos circuitos de tubería).
- ✓ Verificar el sentido de flujo de válvulas de control, globo y cheque.
- ✓ Verificar diámetros aguas arriba y abajo de medidores de flujo (en caso de instalación de nuevos medidores o modificación de la distribución de tubería donde se encuentren actualmente).
- ✓ Verificar que las válvulas e instrumentos se encuentren operativos y disponibles para ser usados en maniobra.
- ✓ En caso de que algún equipo se haya abierto a la atmósfera, verificar que este se haya sometido a inertización antes de permitir entrada de gas.
- ✓ Verificar que la instrumentación de la estación y los lazos de control se encuentren habilitados y operativos.
- ✓ Verificar que no existan fugas a la atmosfera, al sistema de blowdown o al sistema de recolección de condensados y drenajes. Esta verificación debe realizarse siempre que el sistema haya sufrido modificaciones en su circuito de tuberías.
- ✓ Verificar que la información mostrada en la placa de identificación del recipiente sea la correcta (en caso de reemplazo de equipos).
- ✓ Verificar que todos los venteos y drenajes estén conectados y libres de obstrucción.
- ✓ Verificar el sentido de giro de los motores que se utilicen en la operación de la estación.
- ✓ Verificar que las válvulas de la estación no cuentan con bloqueos mecánicos que impidan su operación.
- ✓ Verificar que los ventiladores del sistema de ventilación forzada se encuentren en buen estado.

- ✓ Asegurarse de que todas las líneas de provisión de aire de instrumentos e industrial estén conectadas correctamente y disponibles para operación.
- ✓ Asegurarse de que los Setpoint de la válvulas de seguridad sean los indicados en los P&IDs.
- ✓ Asegurarse que todos los transmisores de presión, temperatura y caudal han sido ajustados respecto a su posición cero.
- ✓ Verificar que el sistema de control DCS de la estación, el sistema ESD de la estación, los sistemas control y Shutdown de los compresores (UCP), el sistema de control del aire comprimido y el sistema de Fire & Gas se encuentran operando de forma adecuada.
- ✓ Asegurarse de que todos los motores y equipos eléctricos hayan sido chequeados para la tensión de alimentación, cuenten con puesta a tierra y se haya verificado su sentido de rotación.
- ✓ Verificar que el sistema de generación eléctrica (generador de emergencia) se encuentra listo para entrar en operación y que se encuentra con capacidad total en cuanto a combustible.
- ✓ Verificar que se han realizado todas las conexiones de puesta a tierra de equipos, estructuras, entre otros.
- ✓ Verificar que la iluminación sea adecuada para realizar una operación nocturna segura.
- ✓ Verificar que el Switchgear se encuentre normalizado y listo para entrar en operación.
- ✓ Verificar que el CCM se encuentra normalizado y listo para entrar en operación.
- ✓ Verificar que la transferencia se encuentra configurada en automático y lista para entrar en operación.
- ✓ Verificar que las UPS se encuentran normalizadas y listas para entrar en operación.

Cuando ocurra una parada de la estación que involucre algún tipo de modificación, donde haya sido necesario abrir un equipo o haya sido necesario reemplazar un componente de los sistemas de la estación, se debe realizar el mencionado chequeo general. Una vez realizado, la estación se encuentra lista para su puesta en marcha.

Cuando se realicen trabajos de mantenimiento o modificaciones en los sistemas de la ECGSB que puedan afectar el grado de limpieza de las líneas de proceso (apertura de equipos, soldaduras, corte de tubería, cambio de alguna tubería, entre otros) es obligatorio instalar el filtro tipo gorro de bruja (cone-strainer) que Man Diesel & Turbo suministró para el comisionamiento de los compresores. Esto se debe hacer para proteger la integridad de los equipos.

4.1. PUESTA EN MARCHA.

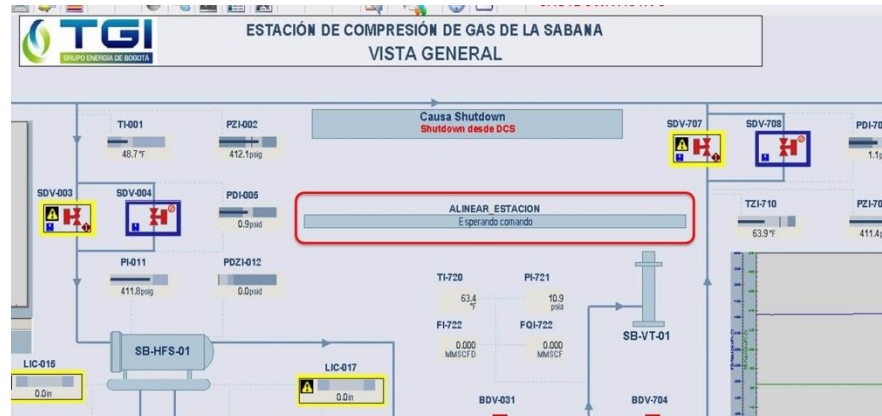
La puesta en marcha de la ECGSB, se da partiendo del evento en que los sistemas ya se encuentran operativos y funcionales, es decir, el sistema eléctrico de la estación está funcionando acorde con los señalamientos de los fabricantes y el constructor como tal.

El alcance de este manual permite indicar la manera correcta de dar arranque a la estación para el proceso de compresión de gas, y así aumentar la capacidad de transporte del gasoducto de la Sabana. Se describe el proceso de encendido y puesta en operación de la estación, luego del primer arranque de los equipos, los cuales fueron realizados por los proveedores.

Antes de iniciar cualquier acción en la estación, se recomienda siempre realizar un *reset* o reconocimiento al sistema de Shutdown de la estación. El reset de este sistema se ejecuta oprimiendo el botón *reset*, el cual se encuentra ubicado en la gráfica general de la estación (DCS de la estación) en la sección ESD de la estación u oprimiendo el botón ACK-ESD, el cual se encuentra en el gabinete del sistema de Shutdown general de la estación (ESD) (este gabinete se encuentra en el cuarto de tableros de control, contiguo a la sala de operadores).

El proceso de presurización de la estación se realiza desde el HMI del DCS, partiendo de la consigna de que el gas proveniente del gasoducto, circula ya por el bypass de la estación de compresión. Existen dos maneras por las cuales se puede realizar la presurización de la estación, manual y automática.

Figura 57. Ubicación comando “Alinear estación” HMI DSC ECGSB.



Para dar inicio a la presurización de la estación de manera manual, se debe dar el comando “Alinear estación” ubicado en el despliegue principal del HMI del sistema

SCADA. Al oprimir este botón, el DCS de la estación verifica en primer lugar que las válvulas BDV 031 y BDV 704 se encuentren cerradas. En caso de que dichas válvulas se encuentren abiertas, el sistema automáticamente ejecutara el procedimiento de cierre de las mencionadas válvulas.

El proceso de alineación de estación, ejecuta la apertura de las válvulas SDV-004, y SDV-708, las cuales corresponden a las válvulas de bypass de las líneas principales de succión y descarga respectivamente. El gas que va ingresando a la estación de compresión esta monitoreado por dos transmisores de presión diferencial, PDIT-005 y PDIT-709. Cuando la presión diferencial de estos instrumentos va de -100 psi a 100 psi del valor de presión general registrado, el sistema ordena automáticamente que las válvulas de 20" SDV-003 (succión) y SDV-707 (descarga) se abran. Cuando el sistema registra total apertura de las mencionadas válvulas, se da orden a las válvulas bypass (SDV-004 y SDV-708) para que se cierren.

Es de tener en cuenta que en todo momento que la estación se encuentre apagada, las válvulas principales y bypass de las líneas de succión y descarga van a estar cerradas, independientemente de que la estación este o no presurizada. Por lo anterior, en el evento en que la estación necesite entrar a operar, y se encuentre presurizada, el comando "Alinear estación" indicara que las válvulas principales de succión y descarga (SDV-003 y SDV-707) se abran sin la necesidad de la apertura previa del bypass. Lo anterior se da siempre y cuando la presión diferencial de los PDIT asociados, este por debajo de 100 psi de diferencia.

Para la presurización manual de la estación, se requiere abrir una a una las válvulas de SDV de la estación, tanto de succión como de descarga. Para lo anterior, es necesario dar clic en el símbolo de la válvula que se quiere abrir desde la vista general de la estación en el DCS. Esta acción despliega el *faceplate* de la válvula. En el *faceplate* de la válvula se encuentran los botones auto, cas y mode. Si el operador oprime el botón auto, una de las cajas enfrente del botón mode será de color azul y contendrá la palabra auto, en la vista general de la estación, en el DCS, la válvula se rodeará con un recuadro azul (esto indica que el operador podrá manipular la válvula) y en el *faceplate* de la válvula aparecerán habilitados los botones abrir y cerrar, los cuales permitirán abrir y cerrar la válvula de manera manual, respectivamente.

Si se desea abrir las válvulas SDV 003 y SDV 707 y no se cuenta con el permiso requerido (presión diferencial reportada por el PDIT 005 y el PDIT 709 entre -100 y 100 psi, respectivamente), en el *faceplate* de la válvula se indicara que esta acción no está permitida mediante un símbolo de prohibido.

El operador debe tener presente que el modo de manipulación de las válvulas debe ser automático (botón cas, *faceplate* de la válvula) si la alineación de la estación se va a realizar de modo. En caso de que se oprima el botón alinear

estación y éstas válvulas se encuentren en modo de manipulación manual (botón auto, *faceplate* de la válvula), el DCS de la estación automáticamente cambiará el modo de manipulación a automático (botón cas, *faceplate* de la válvula) y ejecutará las acciones respectivas para realizar la alineación de la estación.

En caso de que se presente un evento que requiera la suspensión de la operación de la estación, el sistema de Shutdown general de la estación (ESD) ejecutará las acciones necesarias sobre las válvulas SDV 003, SDV 004, SDV 707 y SDV 708, independientemente de su modo de manipulación (automático – botón cas del *faceplate* de la válvula o manual – botón auto del *faceplate* de la válvula). Con los pasos anteriormente mencionados, la estación de compresión queda presurizada hasta el filtro coalescente SB-HFS-001.

Las válvulas SDV asociadas al sistema de compresión no pueden manipularse desde el DCS de la estación, para estas válvulas solo se realiza monitoreo de su estado.

Luego de que la estación se encuentra debidamente presurizada, y las válvulas de las líneas principales de succión y descarga están alineadas, y que las válvulas de Blowdown de proceso BDV-731 y BDV-704 se encuentran cerradas, y que todas las alarmas presentadas ya estén debidamente reconocidas, ya se puede iniciar el proceso de encendido del compresor.

➤ **Secuencia de operación del compresor.** Las unidades de compresión de la ECGSB poseen una secuencia de arranque la cual está determinada por una serie de pasos que se deben cumplir para llevar a una operación exitosa del equipo. Cada paso requiere unas condiciones necesarias para que se pueda continuar con el proceso. Es de tener en cuenta que estos pasos no necesariamente son de orden consecutivo.

A continuación se relacionan los pasos de operación del compresor, y una breve descripción de los mismos, basándose en los requerimientos propios de cada paso para poder continuar con la secuencia normal de operación. Como fue mencionado anteriormente, no necesariamente los pasos son consecutivos, pues existen diferentes eventos en los cuales hay saltos de pasos o retrocesos de pasos, todo dependiendo de la condición de operación que se va presentando a medida que se ejecuta la misma.

Tabla 13. Descripción de pasos secuenciales de operación unidades de compresión MOPICO ECGSB.

STEP DESCRIPTION MOPICO ECGSB.		
STEP NO.	TEXT	DESCRIPTION
STEP 01	STOP	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se ubicara en este paso, solamente después de una parada de planta. ✓ Solo se llegara a este paso, si no hay ningún criterio activo que evidencie Shutdown (SD). ✓ El sistema de compresión está detenido y aislado. ✓ Se dará luego de SD Presurizado, o SD + Blowdown (BD) despresurizado. Para SD+BD, la válvula de BDV asociada al compresor se cerrara. ✓ El circuito principal en el Switchgear se abrirá (MCB). ✓ Suspensión de cojinetes magnéticos (AMB) apagados (No hay levitación del rotor) solo en SD+BD. Para solo SD Presurizado si hay levitación del rotor. ✓ Se apaga el panel de control de los AMB después de un SD+BD. ✓ Si la estación y el equipo se encuentran presurizados, la secuencia salta al STEP 04/ HOT STAND BY.
STEP 02	PRESSURISING	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se requiere que el operador active el comando "HOT STAND BY". ✓ Señal del DCS "READY FOR HOT STAND BY" aparece disponible. ✓ Se realiza presurización del compresor desde la válvula de SDV de succión de cada compresor.
STEP 03	PRESSURISED	<ul style="list-style-type: none"> ✓ La válvula de bypass de succión se cerrara. ✓ Se activa la bandera que indica purga (hasta que la unidad este purgada totalmente). ✓ Se energiza el panel de control del AMB. ✓ Se activa la suspensión del AMB (Rotor levitando).
STEP 04	HOT STANDBY	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Viene de cualquiera de los siguientes pasos previos: STEP 03, STEP 05, STEP 10 o STEP 01. ✓ Todas las interrupciones para inicio son solventadas. El sistema de compresión está listo para arrancar. ✓ Se energiza el VFD. El MCB se cierra y energiza el sistema.
STEP 05	READY TO START	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El variador de frecuencia (VFD) está listo para arrancar el motor. ✓ Las instalaciones de proceso del equipo listas para permitir el arranque del compresor. ✓ La secuencia se devuelve al STEP 04/HOT STAND BY, si alguna de las condiciones de transición del equipo no son válidas en este punto.
STEP 06	START COMPRESSOR	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Comando de arranque desde el HMI de las UCP o desde la Work station del DCS (HMI). ✓ La válvula Antisurge ASV se abre al 100%. ✓ La válvula SDV de succión principal se abre. ✓ Se enciende el compresor (motor principal). ✓ Aumenta la velocidad del compresor al límite mínimo establecido por el VFD, se hace en modo de rampa.
STEP 07	SET COMPRESSOR IN OPERATION	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se alcanza la velocidad mínima de operación del equipo. ✓ La válvula SDV de descarga del compresor se abre. ✓ Se activa el controlador de la válvula Antisurge (ASC). ✓ Se enclava el control de la válvula ASV. ✓ El controlador de la temperatura de gas refrigerante se activa.
STEP 08	UNIT IN OPERATION	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se mantiene activo el controlador de carga y performance de la máquina. ✓ La unidad busca mantener el Setpoint establecido (presión o flujo), ya sea recibido directamente en la UCP o desde el DCS. ✓ Hay comunicación constante entre la UCP y el VFD para determinar la velocidad del equipo.

Continúa...

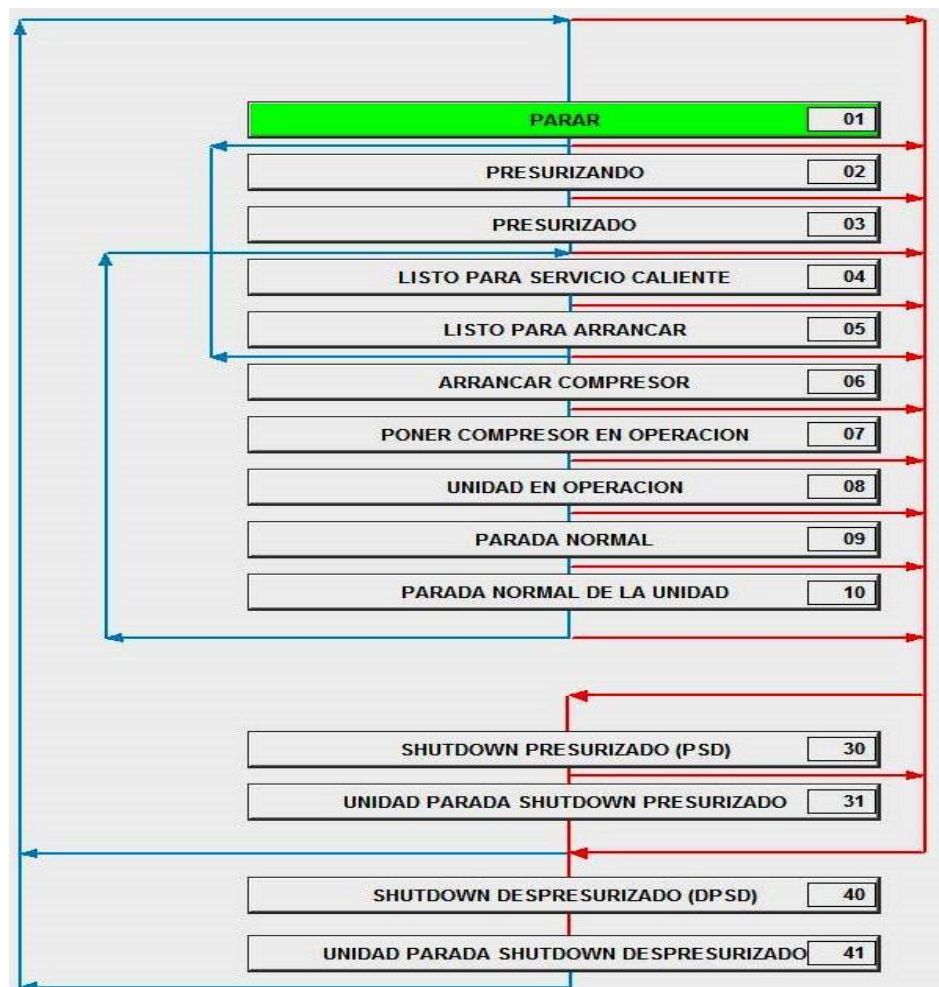
Continuación Tabla 13. Descripción de pasos secuenciales de operación unidades de compresión MOPICO ECGSB

STEP 09	NORMAL STOP	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Se activa control de parada local o remota. ✓ Se desactiva el controlador de carga y performance de la máquina. ✓ La señal de control de velocidad baja la misma en rampa hasta el setting mínimo establecido. ✓ Se desactiva el controlador de Antisurge ASC. La válvula ASV se abre completamente. ✓ Se desactiva el controlador de temperatura de gas refrigerante. La válvula de control de gas refrigerante se abre totalmente.
STEP 10	UNIT NORMAL STOPPED	<ul style="list-style-type: none"> ✓ El compresor pasa a modo de espera. ✓ La suspensión del AMB se mantiene activa (El rotor del motor se mantiene en levitación). ✓ El interruptor principal MCB se mantiene cerrado (activo). ✓ La válvula SDV de succión se cierra y se mantiene en espera de orden de activación (UCP). ✓ La válvula Antisurge ASV se cierra y se mantiene en espera de orden de activación (UCP). ✓ La secuencia posteriormente envía la señal al STEP 04/ HOT STAND BY.
STEP 30	PRESSURISED SHUTDOWN (PSD)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Shutdown presurizado activo (PSD). ✓ Desactiva el controlador de performance y carga compartida en la UCP. ✓ Se desactiva el controlador de Antisurge ASC. La válvula ASV se abre completamente. ✓ Se desactiva la solenoide para apertura rápida de la válvula Antisurge ASV. ✓ Se activa el sistema de parada de emergencia del compresor. ✓ La válvula SDV de descarga se cierra. ✓ Se desactiva el controlador de temperatura de gas refrigerante. La válvula de control de gas refrigerante se abre totalmente. ✓ El variador de frecuencia VFD se detiene. ✓ Se realiza apertura del interruptor principal MCB por orden del VFD.
STEP 31	UNIT STOPPED PRESSURISED SHUTDOWN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compresor detenido. ✓ La válvula SDV de succión del compresor se cierra. ✓ La válvula SDV de la línea de Antisurge se cierra. ✓ Para normalizar el sistema se requiere Trip reset por parte del operador. Vuelve al STEP 01/STOP.
STEP 40	DEPRESSURISED SHUTDOWN (DPSD)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Shutdown despresurizado activo. ✓ Desactiva el controlador de performance y carga compartida en la UCP. ✓ Se desactiva el controlador de Antisurge ASC. La válvula ASV se abre completamente. ✓ Se desactiva la solenoide para apertura rápida de la válvula Antisurge ASV. ✓ Se activa el sistema de parada de emergencia del compresor. ✓ La válvula SDV de descarga se cierra. ✓ La válvula SDV de succión se cierra y queda lista para comando de apertura (UCP). ✓ Se desactiva el controlador de temperatura de gas refrigerante. La válvula de control de gas refrigerante se abre totalmente. ✓ El variador de frecuencia VFD se detiene. ✓ Se realiza apertura del interruptor principal MCB por orden del VFD. ✓ La válvula Antisurge ASV se cierra y queda a espera de comando de arranque (UCP). ✓ La válvula de Blowdown del compresor se abre. Las válvula SDV de succión, descarga y aislamiento ASV están cerradas.
STEP 41	UNIT STOPPED DEPRESSURISED SHUTDOWN	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Compresor detenido. ✓ Suspensión de los AMB apagados (Rotor no está levitando). ✓ El panel de control de los AMB se apaga. ✓ Para normalizar el sistema se requiere Trip reset por parte del operador. Vuelve al STEP 01/STO

En la figura 58 se muestra el diagrama lógico de operación de los compresores de la ECGSB, partiendo de la base secuencial de cada uno de los pasos descritos en la tabla 13. Este diagrama lógico lo ejecuta el sistema de control UCP de cada compresor, y muestra la secuencia que realiza cada equipo teniendo en cuenta las señales que envía y recibe tanto del DCS como de los diferentes sistemas propios del compresor (VFD, AMB, MCB, etc.).

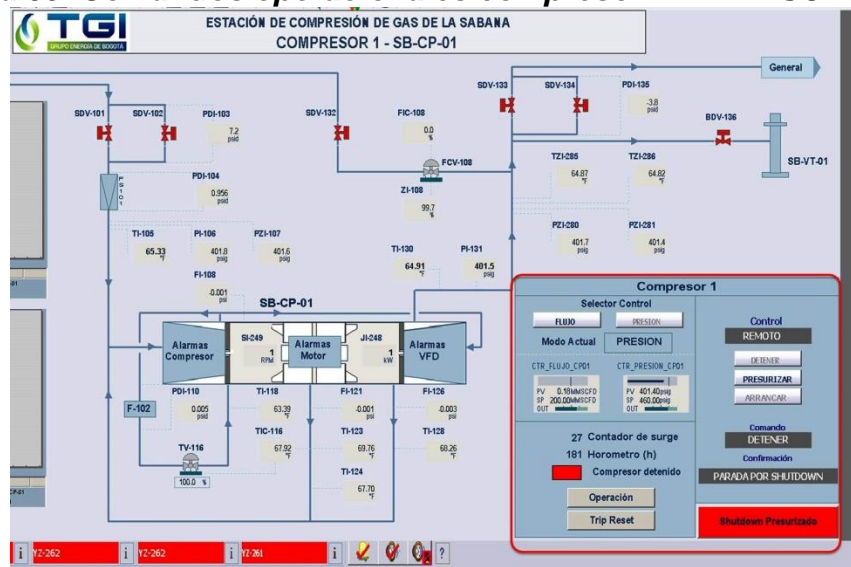
Debe tenerse presente que la secuencia de arranque y el procedimiento de parada normal de los compresores puede ejecutarse desde el DCS de la estación siempre y cuando el control de la unidad se encuentre configurado como remoto. Si el control de la unidad se encuentra configurado como local, las acciones de arranque y parada deben ejecutarse desde el HMI local de las UCP.

Figura 58. Diagrama lógico de operación unidades MOPICO ECGSB



Para iniciar la secuencia de arranque de los compresores desde el DCS, además de que el control de la unidad se encuentre configurado como remoto, el sistema de Shutdown de los compresores debe contar con un *reset* en su estado (oprimir el botón *Tripreset* ubicado en la vista detallada de cada compresor en el DCS de la estación o en el HMI local de la UCP respectiva) y la estación debe encontrarse alineada, es decir, las válvulas BDV 031 y BDV 704 deben encontrarse cerradas y las válvulas SDV 003 y SDV 707 deben encontrarse abiertas. Cuando se cumplan estos tres requisitos, la UCP respectiva iniciará la ejecución de las verificaciones pertinentes y habilitará los botones detener, presurizar y arrancar, dependiendo del estado de la máquina.

Figura 59. Comandos operacionales compresor 1 HMI DSC ECGSB.



Al oprimir el botón *Tripreset*, la UCP de cada compresor se encarga de cerrar las válvulas BDV asociadas a cada unidad, en caso de que dichas válvulas se encuentren abiertas. Esta acción se ejecutará siempre y cuando los instrumentos PZIT 107 y PZIT 307 reporten un valor de presión menor a 29 psig, para el compresor SB-CP01 y SB-CP-02, respectivamente. Oprimir este botón es sinónimo de dar un reset en el estado del sistema de Shutdown de los compresores, por lo tanto, el operador debe asegurarse de que las condiciones del sistema se encuentren normalizadas y no representen ningún tipo de riesgo o peligro.

En caso de que el compresor se encuentre fuera de operación y el sistema de compresión se encuentre despresurizado, la UCP habilita solo el botón presurizar. En este momento el operador debe oprimir este botón para que la UCP ejecute la presurización del compresor. Cuando se finalice el procedimiento de presurización

se habilita el botón arrancar. Una vez dado el arranque, y que la UCP finalice este procedimiento, se habilita el botón de detener. En caso de que el sistema de compresión se encuentre presurizado, la UCP habilita directamente el botón arrancar y el operador debe pasar directamente al arranque del compresor.

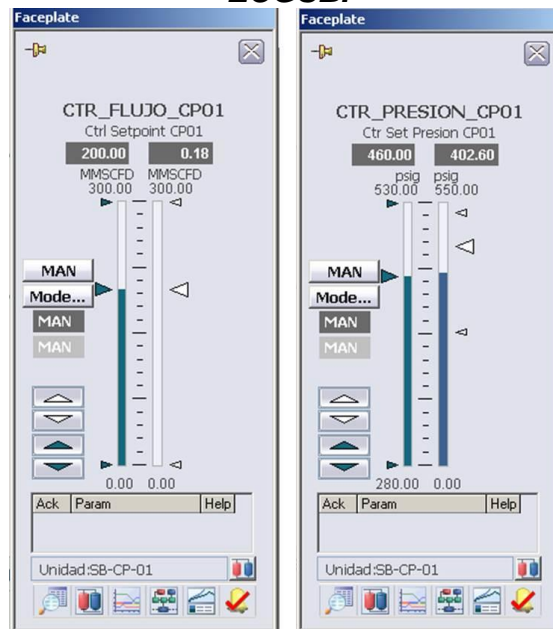
Luego de que el compresor se encuentra en operación, en el DCS, en la ventana del compresor aparece el mensaje “Operando” en un recuadro de color verde.

➤ **Ajuste de setpoint de flujo o presión.** En la vista detallada del compresor en el DCS, se encuentra el menú selector control, donde a su vez se encuentran las cajas FLUJO y PRESIÓN. El operador debe dar clic en la caja correspondiente al tipo de control que desea ejecutar sobre la unidad.

Una vez se haya seleccionado el tipo de control, dar clic en la caja que se encuentra debajo de los menús CTRL_FLUJO_CP XX o CTRL_PRESIÓN_CP XX, dependiendo del tipo de control a establecer.

Esta acción desplegará un nuevo menú donde se encontraran 2 iconos de selección con dos barras indicadoras debajo cada uno. El icono y barra de la derecha indican la condición actual de flujo o presión en la que se encuentra el compresor. El icono y la barra de la izquierda presentan el valor del Setpoint del compresor previamente establecido.

Figura 60. Faceplate ajuste de Setpoint por flujo o presión compresores ECGSB.



Para ingresar el valor de Setpoint, el operador puede dar clic en el icono de la izquierda e ingresar el valor que se requiera en el espacio que tiene por título new value, o puede manipular la barra que se encuentra debajo del icono izquierdo y ajustar el valor al valor de Setpoint requerido.

El Setpoint ingresado por cualquiera de las herramientas anteriores (el icono de selección o la barra) se envía desde el DCS de la estación hacia la UCP del compresor la cual recibe el Setpoint y se encarga de ajustar el funcionamiento de la máquina para alcanzar este valor.

4.2. OPERACIÓN CONTINUADA.

Posterior a la puesta en operación de las unidades de compresión, se deben seguir las tendencias propias que se requieran para mantener una operación segura y sin contratiempos.

La Estación de Compresión de Gas de la Sabana está diseñada para operar en forma segura y de manera autónoma. Cada unidad y sistema de la estación cuenta con los medidores, transmisores y lazos de control necesarios para monitorear las principales variables de proceso y mantener el funcionamiento seguro y continuo de la estación.

A continuación se relacionan los setting de la instrumentación de campo, la cual permite observar las ventanas operativas que tienen los instrumentos, y los límites máximos y mínimos los cuales deben tenerse en cuenta cuando se realiza monitoreo de las variables. Se muestran únicamente los instrumentos que tienen una incidencia propia en la operación y que su operación fuera de las ventanas operativas descritas, pueden generar parada de planta.

Tabla 14. Descripción de ventanas operativas de instrumentación de campo EGSB.

Instrumento	Función	Ventana de operación	Acción
TIT-001	Transmisor indicador de temperatura de gas en entrada de la estación	LL:33 °F L: 45 °F H: 62 °F	Alarma en pantalla por baja- baja, baja o alta temperatura
PZIT 002	Transmisor indicador de presión de gas a la entrada de la estación	LL: 280 psig L: 347 psig HH: 447 psig	En nivel LL o HH , alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por baja -baja o alta-alta presión de entrada. En nivel L : Alarma en pantalla por baja presión de entrada

Continúa...

Continuación Tabla 14. Descripción de ventanas operativas de instrumentación de campo ECGSB.

PIT 011	Indicación local y transmisión de presión en filtro coalescente	H: 440 psig	Alarma en pantalla por alta presión en el filtro coalescente
PDZIT 012	Transmisor indicador de presión diferencial en el filtro coalescente	H: 3 psi HH: 5 psi	En nivel H , alarma por alta presión diferencial. El operador debe realizar mantenimiento o reemplazo de elementos filtrantes. En nivel HH , Alarma en pantalla y accionamiento del sistema de <i>Shutdown + Blowdown</i> de la estación por alta-alta presión diferencial. Los elementos filtrantes deben ser reemplazados.
LIT 015/17	Transmisor indicador de nivel de líquido en las cámaras del filtro coalescente	L: 3" H: 12"	En nivel L : Alarma en pantalla por bajo nivel, cierre de las válvulas LV 015/017. En nivel H : Alarma en pantalla por alto nivel, apertura de las válvulas LV 015/017.
LSL 024/025	Switch de nivel de líquido en las cámaras del filtro y respaldo de los LIT 015/017	L: 2"	Cuando el nivel de líquido en la cámara respectiva llegue a un valor inferior o igual a 2", se presenta alarma en pantalla, se cierra la válvula LV 021
LSZHH 019/020	Switch de nivel de líquido en las cámaras del filtro y respaldo de los LIT 015/017	HH: 15"	Alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por alto-alto nivel
LSZLL 022/023	Switch de nivel de líquido en las cámaras del filtro y respaldo de los LIT 015/017	LL: 1"	Alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por bajo-bajo nivel.
FQY 240	Medición de flujo del gas de despacho, reporte al DSC para registro de condiciones de entrega de gas y a las UCP para control de flujo	H: 295 MMSCFD	Alarma en pantalla del DCS por alto flujo
TZIT 710	Transmisor indicador de temperatura gas de despacho de la estación	H: 110 °F HH: 122 °F	En nivel H , alarma en pantalla por alta temperatura de gas de descarga. En nivel HH , alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por alta-alta temperatura de gas de descarga.
PZIT 706	Transmisor indicador de presión de gas de despacho de la estación y delta de presión por unidad de tiempo del gas de despacho de la estación	H: 495 psi HH: 505 psig HH: 100 psig/min (ΔP)	En nivel H , alarma en pantalla por alta presión de gas de descarga. En nivel HH , alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por alta-alta presión de gas de descarga. En nivel HH , alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por alto-alto delta de presión de gas de descarga.

Continúa...

Continuación Tabla 14. Descripción de ventanas operativas de instrumentación de campo ECGSB.

LSL 045	Switch de nivel de líquido en la vasija SB-V-03	L: 6"	Alarma en pantalla y parada bomba SB-P-01.
LZIT 044	Transmisor indicador de nivel de líquido en la vasija SB-V-03	LL: 3" H: 25" HH: 27"	En nivel LL , alarma en pantalla y parada bomba SB-P-01 por bajo-bajo nivel. En nivel H , alarma en pantalla por alto nivel. En este momento ya se debe haber programado la visita del camión de vacío. En nivel HH , alarma en pantalla y activa el sistema <i>Shutdown</i> de la estación por alto-alto nivel.
XSI 047	Puesta a tierra del camión de vacío	Circuito de puesta a tierra abierto.	Inhibe encendido y operación de la bomba SB-P-01
PZIT 050	Transmisor indicador de presión de aire instrumentos.	LL: 85 psig	En nivel LL , alarma en pantalla y acciona sistema <i>Shutdown</i> de la estación por baja -baja presión de aire de instrumentos.

Dossier Construcción ECGSB.

La instrumentación asociada a las unidades de compresión, son monitoreadas directamente por la UCP de cada equipo. El sistema de control de cada compresor se encarga de realizar los respectivos ajustes a sus parámetros, según las variables operativas que se van presentando, debido a lo anterior, es necesario realizar un chequeo al estado de las variables para verificar que no hayan alarmas presentes indicadas por la UCP de cada compresor.

Desde el DCS se puede realizar monitoreo a las diferentes variables operativas de los diferentes sistemas de la estación (eléctrico, UPS, compresores de aire, etc.). Este monitoreo permite observar el comportamiento de los mencionados sistemas, y si existe alguna alarma presente en los mismos. Además de lo anterior, se pueden visualizar las tendencias de las diferentes variables operacionales, y los registros históricos de los eventos que se presentan durante la operación normal de la estación.

4.3. PARADA NORMAL.

Cuando se oprima el botón de detener se ejecutará el procedimiento de parada normal de las unidades de compresión. En este procedimiento, las UCP mantienen cerradas las válvulas BDV asociadas a las unidades de compresión y de manera controlada disminuyen las RPM de los motores de las unidades hasta un valor de 3600 RPM.

Al momento en que los motores alcancen las 3600 RPM, se abren las válvulas Antisurge (ASV) y se cierran las válvulas SDV ubicadas en la descarga de los equipos. Las UCP continuaran disminuyendo de manera controlada las revoluciones por minuto de los motores de las unidades hasta alcanzar un valor de 1500. En este momento, iniciara un *timer* que luego de transcurridos 30 segundos, indicara a las UCP el cierre de las válvulas SDV ubicadas en la succión y posteriormente las válvulas SDV de corte de las válvulas Antisurge. La válvula Antisurge de las unidades permanece abierta (esta válvula solo se mantendrá cerrada en operación normal del compresor).

Luego de efectuada la parada normal del compresor, la lógica de funcionamiento y operación del compresor mostrara el paso *Step 05 Ready to start*, el cual indica que la maquina se encuentra detenida, presurizada y lista para ejecutar el procedimiento de arranque normal de la unidad de compresión.

4.4. PARADA DE EMERGENCIA Y RE-ARRANQUE.

En el evento en que el sistema detecte una anomalía que pueda presentar un riesgo para la seguridad e integridad de los equipos y el proceso, se activara inmediatamente el procedimiento de Shutdown (SD) o Shutdown + Blowdown (SD+BD) de la estación, según la anomalía registrada.

Para el proceso de la estación de compresión, las variables operativas que llevan la estación a SD o SD+BD, se detallan en la *Tabla 14. Descripción de ventanas operativas de instrumentación de campo ECGSB*.

El sistema de Fire & Gas también monitorea eventos donde existe riesgo para la operación, por lo que, al momento de ser detectado, envía la señal respectiva al ESD para ejecutar ya sea el procedimiento de SD o de SD+BD dependiendo de la naturaleza del evento.

A continuación se relacionan los eventos que generan SD o SD+BD asociados al sistema de Fire & Gas.

Tabla 15. Eventos que generan SD o SD+BD asociados al sistema de F&G ECGSB.

EVENTO	PARADA DE EMERGENCIA
Detección de gas en Shelter de unidades de compresión por dos o más detectores NG en un nivel de concentración del 20% del LEL de atmósfera explosiva.	SD.
Detección de gas en Shelter de unidades de compresión por cualquier detector NG en un nivel de concentración del 40% del LEL de atmósfera explosiva.	SD+BD.

Continúa...

Tabla 16. Eventos que generan SD o SD+BD asociados al sistema de F&G ECGSB.

Detección de gas en bunker por el detector NG en un nivel de concentración del 20% del LEL de atmósfera explosiva.	SD.
Detección de gas en bunker por el detector NG en un nivel de concentración del 40% del LEL de atmósfera explosiva.	SD+BD.
Detección de llama en Shelter de unidades de compresión por cualquier detector FD.	SD+BD.
Detección de llama en bunker por detector FD.	SD+BD.
Detección de humo por dos o más detectores SMK en el cuarto del variador de frecuencia SB-VSD-01	SD.
Detección de humo por dos o más detectores SMK en el cuarto del sistema de aire acondicionado.	SD.
Detección de humo por dos o más detectores SMK en el cuarto del variador de frecuencia SB-VSD-02	SD
Detección de humo por dos o más detectores SMK en el cuarto del sistema de aire comprimido.	SD
Detección de humo por dos o más detectores en la zona de la sala de operadores y cuarto de tableros de control.	SD
Detección de humo por dos o más detectores en la zona de la sala de juntas, y almacén de repuestos.	SD
Detección de humo por dos o más detectores en el cuarto de tableros de media y baja tensión.	SD
Detección de calor en el área del sistema de generación eléctrica (generador de emergencia).	SD
Detección de calor en los transformadores SB-TR-101/ 301, asociados a las unidades de compresión.	SD
Activación de cualquier estación manual (EAM-01, EAM-02, EMA-03, MAC-01, MAC-02 o MAC-03)	SD+BD

Dossier Construcción ECGSB.

Además de los eventos listados anteriormente, existen una serie de eventos, los cuales generan activación de las alarmas sonoras, visuales y audiovisuales de la estación, pero no ejecutan el procedimiento de parada de emergencia por SD o por SD+BD. Los mencionados eventos se relacionan a continuación:

- ✓ Detección de gas por un solo detector NG en el Shelter de unidades de compresión, en un nivel de concentración de 20% del LEL de atmosfera explosiva.
- ✓ Detección de gas hidrogeno en el cuarto de baterías asociadas a las UPS.
- ✓ Detección de humo en un solo detector SMK en: cuarto del variador SB-VSD-01, cuarto de variador SB-VSD-02, cuarto del sistema de aire comprimido, cuarto del sistema de aire acondicionado (HVAC), sala de operadores, tableros de control, sala de juntas y almacén.

Después de un evento que active el sistema de Fire & Gas, las alarmas audiovisuales, las alarmas sonoras y las alarmas visuales permanecerán encendidas hasta que el operador las desactive manualmente desde el HMI del sistema F&G. Para desactivar las alarmas y dar reset a las mismas, el operador debe, desde el HMI del sistema, oprimir el botón Reconocer, seguido a esto oprimir el botón Silence (desactiva alarmas sonoras) y por ultimo oprimir el botón Reset (desactiva alarma visuales). El operador debe tener presente que antes de realizar las acciones anteriores se deben haber normalizado todas las condiciones dentro de la estación, de tal manera que no se encuentre presente ninguna situación de riesgo o peligro.

Además de los eventos generados por el sistema de F&G, el sistema de control de las unidades de compresión UCP, cuentan con diferentes settings de variables operativas propias de todos los sistemas controlados por las mismas UCP. Cualquier valor fuera de los límites operativos de estas variables generan parada de la unidad, y envían la señal ya sea de SD o SD+BD al sistema ESD de la estación, lo que desencadena la activación propia del sistema de emergencia.

A continuación se listan los setting de las variables operativas de todos los sistemas asociados a las UCP de las unidades de compresión. Se describen los límites de alarma, los límites que generan SD presurizado (PSD) y los límites de SD despresurizado (DPSD) de las unidades de compresión.

Tabla 17. Settings de alarma, PSD y DPSD variables operativas UCP unidades de compresión.

Descripción	Límites.		
	Alarma	PSD	DPSD
Presión pasacables motor.	>1.45 psig	--	> 2.9 psig
Detector de Gas IJB 1	>20 % LEL	--	> 40% LEL
Detector de Gas IJB 2	>20 % LEL	--	> 40% LEL
Presión diferencial filtro gas refrigerante	>11.6 psig		
Temperatura reciclo gas refrigerante.	>212 °F	>221 °F	--
Presión diferencial cone-strainer (Temporal)	>7.25 psi	>13.05 psi	--
Presión de succión	<253.8 psig	< 217.6 psig	< 29 psig
Temperatura de succión	>46.4°F	--	--
Temperatura de succión HH	>53.6°F	--	--
Temperatura de descarga	>118 °F	>120 °F	--
Presión de descarga.	>495 psig	>505 psig	--
Velocidad del rotor	12000 RPM	12240 RPM	--
Cojinete Magnético Axial.			
Corriente.	30 Amp.	--	--
Temperatura.	>284 °F	>320 °F	--

Continúa...

Continuación Tabla 16. Settings de alarma, PSD y DPSD variables operativas UCP unidades de compresión.

Cojinete Magnético Radial R1.			
Corriente (R1).	30 Amp.	--	--
Temperatura (R1).	>284 °F	>320 °F	--
Desbalance del rotor (R1).	1.57 mm	2.36 mm	--
Posición radial del rotor (R1).	2.36 mm	3.94 mm	--
Cojinete Magnético Radial R2.			
Corriente (R2).	30 Amp.	--	--
Temperatura (R2).	284 °F	>320 °F	--
Desbalance del rotor (R2).	1.57 mm	2.36 mm	--
Posición radial del rotor (R2).	2.36 mm	3.94 mm	--
Posición axial del rotor	6.89 mm	8.27 mm	--

MAN Diesel & Turbo | Instructivo de servicio | Unidad de máquinas | Sabana |.

Adicionalmente, el sistema de control de las unidades de compresión presenta alarmas por las siguientes condiciones:

- ✓ Falla en calentador eléctrico.
- ✓ Surge.
- ✓ Mínima presión de retorno.
- ✓ Falla en control de Antisurge.
- ✓ Falla común en VFD.
- ✓ Falla común en AMB.

Presentan parada de PSD por.

- ✓ Falla en el sistema Watchdog.
- ✓ Trip de para del sistema de control AMB.

Finalmente, presentan parada de DPSD por.

- ✓ Activación pulsadores de emergencia (UCP y Skid).
- ✓ Trip de para del sistema de control de los variadores VFD.

➤ **Re-arranque.** Posterior a un evento del SD o de SD+BD, como primera medida se deben realizar todas las inspecciones a todos los sistemas, con el fin de verificar que las condiciones son seguras para continuar con el procedimiento de normalización de la estación.

Antes de realizar la normalización de la estación, es necesario subsanar las causas que generaron la parada de emergencia, seguido a esto se debe normalizar el estado del sistema de emergencia de la estación (ESD) oprimiendo el botón Reset, el cual se encuentra ubicado en la sección ESD de la estación u

oprimiendo el botón ACK-ESD que se encuentra en el gabinete del sistema ESD (el cual se encuentra en el cuarto de tableros de control, contiguo a la sala de operadores).

Hay que tener en cuenta que un evento de SD+BD, ocasiona que el sistema de emergencia active un tiempo de espera para realizar su reacondicionamiento. Este tiempo mencionado es de 1200 seg (20 min).

El tiempo comienza a contar posterior a la normalización y reset del sistema de emergencia ESD de toda la estación.

Si el operador no da el reset al sistema de emergencia de la estación (ESD), no será posible ejecutar acciones sobre las válvulas para alinear la estación. Si el operador da el reset al sistema de Shutdown general de la estación (ESD), pero la situación que generó el evento de parada no se ha mitigado, el sistema no permitirá la ejecución de acciones sobre las válvulas y no se podrá alinear la estación.

Posterior a la revisión y normalización de la estación, se puede realizar el procedimiento de alineación, y puesta en marcha de la estación.

4.5. OPERACIÓN REMOTA.

La filosofía de operación de la ECGSB contempla la operación remota de la misma, por lo cual, el centro principal de control CPC ubicado en Bogotá, tiene tanto control como monitoreo de las variables principales de la ECGSB.

Desde el CPC está contemplada la puesta en marcha, monitoreo, parada normal, y parada de emergencia de la estación de compresión, sin la necesidad de contar con operadores en sitio, lo que facilita aún más la operación del gasoducto de La sabana.

La ECGSB se diseñó para operar en un periodo de tiempo normal de 16 a 17 horas por día. Durante el tiempo restante del día la estación permanecerá fuera de operación, con los compresores fuera de operación, pero con sus sistemas de control encendidos. La operación durante 24 horas en continuo se realizará únicamente en el caso en que la demanda de usuarios finales de gas en Bogotá y sus alrededores así lo requiera.

Para permitir el monitoreo y control de la ECGSB desde el CPC en Bogotá, es necesario habilitar desde la pantalla principal del HMI del DCS la opción SCADA en el recuadro "Selector Operation". Luego de activado este icono, el control de la estación será directamente desde el CPC.

Cabe recordar que el CPC cuenta con el monitoreo constante de las variables operativas de la ECGSB, independientemente de que se esté habilitado el control de la misma.

Cuando se envíe señal de parada de la estación con o sin blowdown desde el CPC, el usuario contará con aproximadamente 30 segundos para decidir si aborta o no la ejecución de estos eventos, teniendo en cuenta los posibles retardos en comunicación.

5. CONCLUSIONES.

- Se elaboró el manual de operación de la estación de compresión de gas La Sabana, teniendo en cuenta los criterios requeridos para su operación segura, indicando a modo general los parámetros de seguridad y salud en el trabajo, así como los posibles impactos ambientales que se pueden generar en el desarrollo de su operación.
- Se realizó una descripción general de todos los sistemas que comprenden la estación de compresión de gas La Sabana, basándose en los criterios de diseño y construcción, así como la función que cumple cada uno, para llevar a cabo el proceso de operación de la estación.
- Se contempló una descripción detallada de las unidades de compresión MOPICO, así como los sistemas asociados al normal funcionamiento del equipo, teniendo en cuenta los parámetros constructivos y operacionales del mismo.
- Se identificaron los principales criterios operacionales de la estación de compresión de gas La Sabana, basándose en las condiciones exigidas para cumplir con el reglamento único de transporte (RUT).
- Se describió uno a uno los procesos operacionales de puesta en marcha, parada, parada de emergencia y re-arranque de la estación de compresión de gas La Sabana, permitiendo una herramienta útil con la que los operadores pueden contar, para llevar a cabo una operación de manera segura.
- Se realiza una breve descripción de la operación remota de la estación, lo cual permitirá tanto al personal de la estación, como a los operadores del centro principal de control CPC, la selección óptima del proceso de operación de la estación.

BIBLIOGRAFIA.

Brouchere MOPICO tomado de http://turbomachinery.man.eu/docs/librariesprovider4/Turbomachinery_doc/mopico---gas-pipeline-compression-system.pdf?sfvrsn=6 (fecha de consulta: Septiembre 2016).

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, 614539 Dossier Construcción Cap. 1 Tomo 1, BOGOTA, MAYO DE 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, Manual de Operación ECGSB cap6 Rv00, BOGOTA, MAYO DE 2016

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, Manual de Operación ECGSB cap7 Rv00, BOGOTA, MAYO DE 2016.

Tomado de: <http://www.tgi.com.co/index.php/es/nuestra-operacion/mapa-red-nacional-de-gasoductos/estaciones-de-compresion-de-gas> (fecha de consulta, septiembre 2016).

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, Dossier de Construcción ECG La Sabana, LA-100053 - Filosofía de Operación PGCPH, BOGOTA, SEPTIEMBRE 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP, 614539 Dossier Construcción Cap. 3 Tomo 21, BOGOTA, SEPTIEMBRE DE 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP 614539 Dossier Construcción Cap. 5 Tomo 49, BOGOTA, SEPTIEMBRE 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. MAN Diesel & Turbo | Instructivo de servicio | Unidad de máquinas | Sabana |. Bogotá, Septiembre de 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. S2M by SKF. Manual de usuario armario de control cojinetes magnéticos. Bogotá. Septiembre 2016.

Tomado de <https://fbancoff.wordpress.com/2015/05/24/valvulas-anti-bombeo-o-surge/> (fecha de consulta: Septiembre 2016).

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP. ABB. Medium voltage AC drives ACS 5000 water-cooled, 12 – 36 MVA, 6 - 6.9 Kv User Manual. Bogotá, Septiembre 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP 614539 Dossier Construcción Cap. 1 Tomo 2, BOGOTA, NOVIEMBRE 2016.

TRANSPORTADORA DE GAS INTERNACIONAL S.A. ESP 614539 Dossier Construcción Cap. 3 Tomo 20, BOGOTA, NOVIEMBRE 2016.