

**DETERMINAR DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERATIVO LOS EQUIPOS
CRÍTICOS EN LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS JAGUA DEL PILAR
PROPIEDAD DE TGI S.A. ESP**

CÉSAR FERNANDO CHACÓN SÁNCHEZ

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2016

**DETERMINAR DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERATIVO LOS EQUIPOS
CRÍTICOS EN LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS JAGUA DEL PILAR
PROPIEDAD DE TGI S.A. ESP**

CÉSAR FERNANDO CHACÓN SÁNCHEZ

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Ingeniería del gas**

**Director: JORGE LUIS CHACON VELASCO
Ingeniero mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DEL GAS
BUCARAMANGA**

2016

DEDICATORIA

A DIOS

A mi esposa Endyra y mis hijos Luvana y Adrián quienes son mi fuente de energía y motivación permanente.

A mis padres, hermanos y sobrinos por su apoyo incondicional.

César Fernando Chacón Sánchez

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que me brindaron apoyo para sacar adelante esta monografía.

A la Transportadora de Gas Internacional S.A. ESP., al gerente de infraestructura Ing. Cesar J. Criollo por su confianza y apoyo.

Al personal de mantenimiento y operación de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar por el apoyo brindado en las sesiones de trabajo realizadas.

A mis colegas del área de confiabilidad, operaciones y HSEQ, por apoyar el desarrollo y aplicación de la metodología.

ABREVIATURAS

UPS: Fuente de poder ininterrumpible.

MMSCFD: Millones de pies cúbicos de gas día a condiciones estándar.

ESD: Sistema de seguridad y parada de emergencia

F&G: Fuego y Gas

PCV: Válvula de Control (Regulación) de Presión

PSV: Válvula de Seguridad

SDV: Válvula de Shutdown

BDV: Válvula de Blowdown

DSC: Sistema de control distribuido

LG: Control de nivel

TGI: Transportadora de Gas Internacional

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	17
1. ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS JAGUA DEL PILAR	19
1.1 ASPECTOS GENERALES	19
1.1.1 Reseña histórica.	19
1.1.2 Ubicación.	19
1.1.3 Capacidad de diseño.	20
1.2 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO	21
1.2.1 Mecánica.	21
1.2.2 Instrumentación.	22
1.2.3 Sistema de parada de emergencia (ESD).	22
1.2.4 Eléctrica.	22
1.3 ASPECTOS OPERATIVOS DE LA ESTACIÓN	24
1.3.1 Condiciones de Operación	25
1.3.2. Composición del Gas.	25
1.3.3. Consumo de gas combustible y gas de arranque.	26
1.4 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN	26
1.4.1. Generalidades	26
1.4.2. Descripción del proceso.	27
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	57
1.6 OBJETIVOS	58
1.6.1 Objetivo general.	58
1.6.2 Objetivos específicos	58

1.7 JUSTIFICACIÓN	58
2. MARCO TEÓRICO	59
2.1 ANALISIS DE CRITICIDAD	59
2.2 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	60
2.2.1 Método de Ciliberti	61
2.2.2 Metodología de análisis de criticidad de los puntos	63
2.2.3 Método de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo	64
2.2.4 Análisis de Criticidad Basada en API 581	67
2.2.5 Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento según NORSOK STANDARD Z-008 Rev. 2, Nov. 2001.	67
3. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	69
3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS	69
3.1.1 Sistema de interconexión Gasoducto - Slug Cátcher.	70
3.1.2 Sistema de separación-filtración de succión.	70
3.1.3 Sistema de Compresión.	71
3.1.4 Sistema de Separación-Filtración de Descarga.	72
3.1.5 Sistema de gas combustible.	73
3.1.6 Sistema gas de arranque.	73
3.1.7 Sistema de gas piloto (Tea) y gas purga.	74
3.1.8 Sistema de Knock Out Drum.	74
3.1.9 Sistema de acumulación de condensados.	75
3.1.10 Sistema de aire industrial.	75
3.1.11 Sistema de aire de instrumentos.	75
3.1.12 Sistema eléctrico principal y de emergencia.	76

3.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD	76
3.2.1 Selección de la metodología	77
3.2.2 Establecimiento de los criterios	77
3.2.3 Aplicación de la matriz de criticidad	80
3.2.4 Ecuaciones para la jerarquización	81
3.2.5 Determinación de la criticidad de equipos	82
3.2.6 Cálculo de criticidad	82
3.3 LISTA JERARQUIZADA DE EQUIPOS	93
4. CONCLUSIONES	96
5. RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	100

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Condiciones de operación estación de compresión Jagua del Pilar.	25
Tabla 2. Composición del gas Guajira.	25
Tabla 3. Consumo de gas combustible y gas de arranque	26
Tabla 4. Característica de diseño Slug Cátcher y Filtro Separador de Succión.	33
Tabla 5. Condiciones de diseño unidades de compresión.	37
Tabla 6. Condiciones de diseño filtro coalescente de descarga.	38
Tabla 7. Condiciones de diseño Knock Out Drum y Tea.	44
Tabla 8. Condiciones de diseño tanque de condensados y bomba de transferencia de condensados.	48
Tabla 9. Condiciones de diseño compresor de aire, tambor acumulador de aire de instrumentos y tambor acumulador de aire industrial.	50
Tabla 10. Factores ponderados para evaluar la criticidad.	65
Tabla 11. Equipos del sistema de interconexión Gasoducto-Slug Cátcher.	70
Tabla 12. Equipos sistema de separación-filtración de succión	70
Tabla 13. Equipos sistema de compresión	71
Tabla 14. Equipos Sistema de Separación-Filtración de Descarga	72
Tabla 15. Equipos sistema de gas combustible.	73
Tabla 16. Equipos sistema gas de arranque.	73
Tabla 17. Equipos sistema de gas piloto (Tea) y gas purga.	74
Tabla 18. Equipos del sistema Knock Out Drum.	74
Tabla 19. Equipos sistema acumulador de condensados.	75
Tabla 20. Equipos sistema de aire industrial.	75
Tabla 21. Equipos sistema aire de instrumentos.	76
Tabla 22. Equipos sistema eléctrico principal y de emergencia.	76
Tabla 23. Criterios frecuencia de falla.	78
Tabla 24. Criterio del impacto operacional.	78
Tabla 25. Criterio de flexibilidad operacional	79
Tabla 26. Criterio de costos asociados	79

Tabla 27. Criterio de impacto en seguridad, higiene y ambiente.	80
Tabla 28. Ejemplo de cálculo de la criticidad.	83
Tabla 29. Jerarquización equipos del sistema de interconexión Gasoducto-Slug Cátcher.	84
Tabla 30. Jerarquización equipos sistema de separación-filtración de succión.	85
Tabla 31. Jerarquización equipos sistema de compresión.	86
Tabla 32. Jerarquización equipos Sistema de Separación-Filtración de Descarga.	87
Tabla 33. Jerarquización equipos sistema de gas combustible.	88
Tabla 34. Jerarquización equipos sistema gas de arranque.	89
Tabla 35. Jerarquización equipos sistema de gas piloto (Tea), gas purga y tea.	89
Tabla 36. Jerarquización equipos del sistema Knock Out Drum.	90
Tabla 37. Jerarquización equipos sistema acumulador de condensados.	91
Tabla 38. Jerarquización equipos sistema de aire industrial.	91
Tabla 39. Jerarquización equipos sistema aire de instrumentos.	92
Tabla 40. Jerarquización equipos sistema eléctrico principal y de emergencia.	92
Tabla 41. Listado de equipos críticos.	93

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar.	20
Figura 2. Estación de compresión de gas Jagua del Pilar.	21
Figura 3. Esquemático del proceso.	28
Figura 4. Slug Cátcher.	30
Figura 5. Esquemático del Slug Cátcher	32
Figura 6. Sistema de separación, filtración de succión	32
Figura 7. Esquemático del sistema separador de succión	33
Figura 8. Sistema de compresión.	35
Figura 9. Esquemático de las unidades de compresión.	36
Figura 10. Sistema de filtración en la descarga y medición de gas.	38
Figura 11. Esquemático de filtro coalescente de descarga.	39
Figura 12. Sistema de alivio y tea	41
Figura 13. Esquemático del sistema de alivio y Tea.	42
Figura 14. Válvula de recirculación.	45
Figura 15. Esquemático de la válvula de recirculación.	46
Figura 16. Tanque de condensados.	47
Figura 17. Esquemático del Tanque de condensados.	47
Figura 18. Sistema de aire comprimido	49
Figura 19. Esquemático del sistema de aire comprimido.	50
Figura 20. Sistema de gas combustible y arranque.	51
Figura 21. Esquemático Sistema de gas combustible y arranque.	52
Figura 22. Esquemático sistema de gas piloto de la tea.	54
Figura 23. Grupo electrógeno.	55
Figura 24. Esquemático de conexión.	56
Figura 25. Esquema del análisis de criticidad según Ciliberti.	62
Figura 26. Esquema método de puntos	64
Figura 27. Matriz de Criticidad jerarquizada.	66
Figura 28. Matriz de criticidad aplicada.	81

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexos A. Planos por sistemas de la estación Jagua del Pilar	100
Anexos B. Tablas de cálculo de criticidad	101

RESUMEN

TITULO: DETERMINAR DESDE EL PUNTO DE VISTA OPERATIVO LOS EQUIPOS CRÍTICOS EN LA ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS JAGUA DEL PILAR PROPIEDAD DE TGI S.A. ESP*

AUTOR: CÉSAR FERNANDO CHACÓN SÁNCHEZ**

PALABRA CLAVE: ANÁLISIS DE CRITICIDAD, FILOSOFÍA DE OPERACIÓN, EQUIPOS ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS.

CONTENIDO: En esta monografía se presentan los criterios de diseño, los aspectos operativos y la filosofía de operación de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar, información que se utilizara como referencia para determinar desde el punto de vista operativo los equipos críticos.

Se realizó una revisión bibliográfica de las metodologías existentes de mayor aplicación en la industria de procesos para realizar el análisis de criticidad de equipos y a partir de esta seleccionar una metodología que permita realizar el análisis de criticidad operacional de los equipos pertenecientes a la estación de compresión de gas Jagua del Pilar.

Se definieron los equipos que hacen parte de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar hacia los cuales se enfocara la aplicación de la metodología, estos fueron clasificados por sistemas para finalmente por medio de la metodología seleccionada adelantar el análisis de criticidad utilizando para la valoración cualitativa la matriz de criticidad que incluye criterios, tales como frecuencia de falla, impacto operacional, flexibilidad operacional, costos asociados e impacto en seguridad y ambiente, la ponderación de cada uno de estos criterios fue realizada por juicio de expertos en reuniones de trabajo con la participación de personal técnico de mantenimiento, operación, seguridad y ambiental de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar quienes cuentan con amplia experiencia y conocimiento. Adicionalmente, se realizó la validación de la ponderación con los profesionales de las áreas de operación, mantenimiento y confiabilidad de la empresa, determinando la lista de equipos que según su valoración se clasifican como críticos, semi-críticos y no críticos, generando una herramienta muy útil para priorizar equipos en función de su importancia para la operación y cuyo resultado permite direccionar y optimizar los recursos a los equipos que generan mayor afectación operativa al momento de presentar una falla.

* Monografía

** Especialización en Ingeniería del Gas. Facultad de ingenierías Físico - Mecánicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander. Director: Ing. Jorge Luis Chacón Velasco.

ABSTRACT

TITLE: DETERMINE FROM THE OPERATIONALLY CRITICAL EQUIPMENT AT GAS STATION COMPRESSION JAGUA OF PILAR PROPERTY TGI SA ESP

AUTHOR: CÉSAR FERNANDO CHACÓN SÁNCHEZ **

KEYWORD: CRITICALITY ANALYSIS, OPERATION PHILOSOPHY, GAS COMPRESSION EQUIPMENT.

CONTENT: This monography presents the design criteria, the operative facts and the operational philosophy from the gas compression station Jagua of Pilar. This information will be use as a reference to determine the critical equipment.

According to the actual methodologies used in the oil process industry this work pretends to do the right criticality equipment analysis which can allow us to determine the most correct in the gas compression station Jagua of Pilar.

The equipment used in the gas compression station Jagua of Pilar was defined and focused on the application of the methodology this was identified as well because of its TAG and classifies by systems. By using the selected methodology to determine the criticality analysis using the qualitative Matrix score which includes criteria such as failure frequency, operational impact, operational flexibility, associated costs and the safety and environment impact. The average of every one of these criteria was done by experts judgment in work meetings with the participation of technical personnel of maintenance, operational technicians, safety and environmental personnel from the gas compression station Jagua del Pilar.

Besides that, the analysis of the average was done by professional experts in the field of operations, maintenance as well as the reliability of the infrastructure management office. The equipment was classified by critical, semi critical, and non-critical to prioritize the equipment according to its function and importance for the operation.

Finally, with this result of the operation, safety and the environment can allow us to address and optimize the resources used and focus them to the equipment which generates the most affectation in the moment of a failure or malfunction.

* Monograph

** Specialization in Gas Engineering. Physical Faculty of Engineering - Mechanical. Petroleum Engineering School. Universidad Industrial de Santander. Director: Ing. Jorge Luis Chacón Velasco.

INTRODUCCIÓN

La Transportadora de Gas Internacional TGI S.A. ESP está enfocada en identificar potencialidades que le apunten a la reducción de los costos operativos y de mantenimiento específicamente relacionados con las paradas imprevistas por fallas en componentes que por sus características pueden llegar a producir afectación al cumplimiento de los requerimientos de transporte diario de gas, siendo éste uno de los principales factores relacionados con la confiabilidad del sistema de transporte para lo cual, se viene complementando y mejorando la confiabilidad operacional a través de los proceso de planeación, programación y gestión de activos. Dentro de las tareas a desarrollar, se tiene identificada la necesidad de realizar la jerarquización de los equipos aplicando para esto, una metodología asociada al análisis de criticidad, por ser esta una herramienta que permite establecer dicha jerarquización mediante criterios homologados referentes a: La seguridad, el ambiente, la producción, las operaciones, los costos de operación, los costos de mantenimiento y el número de fallas.

Actualmente la empresa cuenta con trece (13) estaciones de compresión diseñadas bajo un mismo esquema constructivo por lo cual se tomara como referente para la jerarquización de equipos, la estación de compresión de gas Jagua del Pilar para desarrollar un modelo de análisis de criticidad con el fin de determinar los equipos críticos facilitando la toma de decisiones, enfocando los esfuerzos y los recursos hacia los equipos donde sea más importante y necesario mejorar la confiabilidad operacional. Permitiendo generar una lista ponderada desde el elemento considerado más crítico hasta el elemento menos crítico del total analizado diferenciándolos en tres zonas de clasificación: crítico, semi-crítico y no crítico.

Una vez identificadas estas zonas es mucho más fácil estructurar una estrategia que permita mejorar la confiabilidad operacional, enfocando las acciones hacia los

equipos que forman parte del grupo crítico, que es hacia donde se deben enfocar los esfuerzos.

El objetivo de esta monografía es establecer un método que sirva como instrumento para determinar la jerarquización de los equipos en una estación de compresión de gas y que a partir de estos resultados, se pueda complementar y mejorar el manejo de los recursos en el proceso de planeación, programación y gestión de activos haciéndolo de una manera controlada y auditable.

1. ESTACIÓN DE COMPRESIÓN DE GAS JAGUA DEL PILAR

1.1 ASPECTOS GENERALES

1.1.1 Reseña histórica. Colombia dispone de una Red Nacional de Gasoductos, a través de la cual se suministra el gas natural a los principales centros de consumo industrial y residencial del país. Uno de los principales gasoductos que forma parte de esta red corresponde al gasoducto Ballena – Barrancabermeja, el cual para el año 2009 contaba con una capacidad de transporte de 190 MMSCFD y cuatro estaciones de compresión ubicadas a lo largo del gasoducto en los departamentos de la Guajira (Hatonuevo), Cesar (Casacara y Norean) y Santander (Barrancabermeja).

El proyecto de ampliación del gasoducto Ballena-Barrancabermeja fue iniciado en el de enero del año 2009 incrementando la capacidad de 190 MMSCFD a 260 MMSCFD, este incluyó la construcción de tres (3) nuevas estaciones de compresión de gas en las localidades de la Jagua del Pilar, Curumani y San Alberto, adicionalmente la ampliación de las cuatro (4) estaciones de compresión de gas existentes (Hatonuevo, Casacara, Norean y Barrancabermeja). La estación de compresión de gas Jagua del Pilar entro en operación en el mes de julio del año 2010.

1.1.2 Ubicación. Está ubicada en la vereda Globo Marquesote del Municipio de la Jagua del Pilar, departamento de la Guajira, sobre la vía que conduce desde la Paz hacia Villanueva, en el kilómetro 10, en un desvío de 500 metros al costado occidental de la vía frente a la trampa de raspadores del gasoducto Ballena-Barrancabermeja en el PK. 160 como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Ubicación de la estación de compresión Jagua del Pilar.



Fuente: TGI S.A. ESP

1.1.3 Capacidad de diseño. La estación de compresión de gas Jagua del Pilar recibe el gas proveniente de la estación de compresión de gas Hatonuevo ubicada aproximadamente a 81 kilómetros de distancia. El objetivo de esta nueva estación es incrementar la capacidad de transporte en el gasoducto Ballena-Barrancabermeja desde 190 a 260 MMSCFD con una capacidad de diseño de 330 MMSCFD. La estación de compresión de gas Jagua del Pilar dispone de cuatro (4) unidades de compresión, con una capacidad nominal por unidad de 110 MMSCFD con esquema de operación tres (3) de cuatro (4), en la figura 2 se muestra la estación de compresión de gas Jagua del Pilar.

Figura 2. Estación de compresión de gas Jagua del Pilar.



Fuente: Autor.

1.2 CRITERIOS GENERALES DE DISEÑO

Las facilidades que hacen parte de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar están diseñadas para una vida útil de veinte (20) años.

1.2.1 Mecánica. En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar se instalaron unidades de compresión tipo reciprocante conformadas por motor (CAT3612), compresor (ARIEL JGC/4), enfriador de aire (Air X Changers 132 F3), botellas de succión y descarga, Scrubbers de succión, los cuales fueron diseñados y seleccionados de acuerdo a los siguientes códigos y normas: Recipientes a presión con ASME división VIII sección 1, Bombas de desplazamiento positivo con API 676, Bombas centrifugas con API 610.

1.2.2 Instrumentación. En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar la instrumentación instalada se definió con los siguientes criterios: Seguridad para las personas y las instalaciones, permitir operación local y remota, permite la supervisión de todos los equipos, incrementar la seguridad de los equipos reemplazando el gas de instrumentos por aire de instrumentos, se utilizaron normas API RP 551, NEMA ICS 6 y ASME PTC 19, entre otras.

1.2.3 Sistema de parada de emergencia (ESD). En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar el sistema ESD es autónomo e independiente del sistema de control y está estructurado con un ESD local por equipo y en caso de ser actuado lleva al equipo al estado seguro. El ESD de la estación en caso de ser accionado lleva a la estación a un estado seguro, desencadenando los ESD locales.

El sistema ESD es monitoreado por el sistema de control en el cual se reportan los disparos y las alarmas generadas.

El ESD está diseñado para proteger automáticamente las instalaciones de condiciones anormales del proceso como sobrepresiones hidráulicas ocasionadas por cierres de válvulas, fugas de gas y conatos de incendio; y manualmente por acción del operador al detectar por ejemplo una fuga de gas, llevando una o todas las áreas de proceso a condición segura, sea por la parada total o el aislamiento de solo un área de proceso. Este sistema es considerado intrínsecamente crítico por estar asociado a la seguridad operativa.

1.2.4 Eléctrica. En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar el sistema eléctrico incluyó los siguientes aspectos:

- Seguridad de las instalaciones y las personas que operan el sistema.
- Confiabilidad para garantizar la continuidad del servicio en caso de contingencia o mantenimiento de las redes eléctricas externas.

- Simplicidad en la operación, facilidad para el mantenimiento y normalización de equipos.

1.2.4.1 Puesta a tierra. En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar para el sistema de puesta a tierra, se consideró lo siguiente:

- Garantizar las condiciones de seguridad para el personal.
- Servir de referencia común al sistema eléctrico.
- Conducir con suficiente capacidad las corrientes de falla, electrostáticas y las descargas eléctricas (Rayos).
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

Todos los equipos, estructuras metálicas, cajas de paso, tanques y recipientes están conexiónados directamente a la puesta a tierra más cercana mediante soldadura exógena para conexiones subterráneas y por terminales de compresión para conexiones a la vista.

1.2.4.2 UPS. En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar la unidad de potencia ininterrumpida (UPS) cuenta con una capacidad nominal de 10 KVA con la cual satisface los requerimientos de energía eléctrica con un tiempo de autonomía de 2 horas a plena carga para alimentar los equipos considerados con cargas críticas para la operación, tales como:

- Control de proceso.
- Controladores programables.
- Computadores de flujo.
- Comunicación de emergencia.
- Alarma contra incendio y de gas.
- Sistema de seguridad.

Esta UPS es dedicada y no soporta ninguna carga de iluminación solo se utiliza para la instrumentación y el control de proceso.

1.2.4.3 Transformadores. En la estación de compresión de gas Jagua del Pilar se tiene un transformador de potencia tipo PAD MOUNTED para uso externo con una capacidad nominal de 150 KVA instalado dentro un área delimitada por una malla de cerramiento, cuya relación de transformación de 13.2 kV/208V.

1.3 ASPECTOS OPERATIVOS DE LA ESTACIÓN

El control operativo y la supervisión de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar, se realiza mediante un sistema de control distribuido (DSC) que recibe las señales desde campo, las procesa y las retorna al mismo accionando las válvulas de control, permitiendo al operador realizar su labor de forma más eficiente.

Adicionalmente la estación dispone de un sistema de seguridad y parada de emergencia (ESD), el cual recibe las señales de seguridad y emergencia desde campo o sala de control, las procesa y las retorna a campo accionando alarmas o activando una secuencia planeada de cierre de válvulas (Shutdown) en diferentes niveles, dependiendo de la señal que genere la activación. Los sistemas de parada están diseñados de tal manera que la estación llegue a una condición segura por sí misma, conforme a los diferentes tipos de activación.

Mediante un enlace satelital se envían al sistema SCADA ubicado en Bogotá las señales seleccionadas tanto del sistema de control distribuido (DCS), como del sistema de parada de emergencia (ESD).

Como complemento a ambos sistemas, se cuenta con el sistema de detección de gas e incendio (Fire & Gas), que es un sistema de detección de gases inflamables,

llama e incendio independiente del sistema de control distribuido (DSC) y sistema de parada de emergencia (ESD).

Este sistema recibe las señales de los detectores de gas, llama, humo, estaciones manuales de alarma, alarmas sonoras, visuales y audiovisuales.

1.3.1 Condiciones de Operación. Las condiciones de operación de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar se incluyen en la tabla 1.

Tabla 1. Condiciones de operación estación de compresión de gas Jagua del Pilar.

CONDICIONES DE OPERACIÓN			
Estacion Jagua del Pilar		Capacidad de compresión 260 MMSCFD	
		Presión (psig)	Temperatura (F)
Entrada del gas		565-875	89
Gas de arranque		120	48
Gas combustible		140	48
Unidades de compresion	Succion	550-850	89
	Descarga	1050-1200	120
Salida del gas		1035-1185	120

Fuente: TGI S.A. ESP.

1.3.2. Composición del Gas. La composición del gas en base seca que maneja la estación de compresión de gas Jagua del Pilar, se define en la tabla 2.

Tabla 2. Composición del gas Guajira.

Composición del Gas Guajira	
Componente	Fracción Molar (%)
Metano	98,0368
Etano	0,274
Propano	0,0492

i-Butano	0,0162
n-Butano	0,007
i-Pentano	0,0058
n-Pentano	0,0009
Hexano	0,0131
Dióxido de Carbono	0,0376
Nitrógeno	1,5564
Gravedad específica	0,56

Fuente: TGI S.A. ESP.

1.3.3. Consumo de gas combustible y gas de arranque. Las unidades de compresión instaladas en la estación de compresión de gas Jagua del Pilar tiene el consumo de gas combustible indicado en la tabla 3.

Tabla 3. Consumo de gas combustible y gas de arranque

Consumo de Gas Combustible y Gas de Arranque	
Motor Unidad de Compresión	Caterpillar G3612
Cantidad de Unidades	4
Consumo de combustible/Unidad, SCFH	27868
Consumo de combustible/Unidad, MMSCFD	0,67
Consumo Total de combustible, MMSCFD	2,68
Flujo de Gas de Arranque/Unidad, MMSCFD	4

Fuente: TGI S.A. ESP.

1.4 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN

1.4.1. Generalidades. La estación de compresión de gas Jagua del Pilar está diseñada para operar en forma segura y de modo autónomo. Cada unidad y los diferentes sistemas cuentan con los instrumentos y transmisores necesarios para monitorear las principales variables del proceso. Estos permiten determinar si la

estación está operando de acuerdo al diseño realizado, y ejecutar maniobras a distancia desde el cuarto de control en caso de ser requerido para corregir situaciones anormales. Además los sistemas de la planta cuentan con lazos de control que permiten mantener el funcionamiento seguro y continuo para determinadas condiciones de operación.

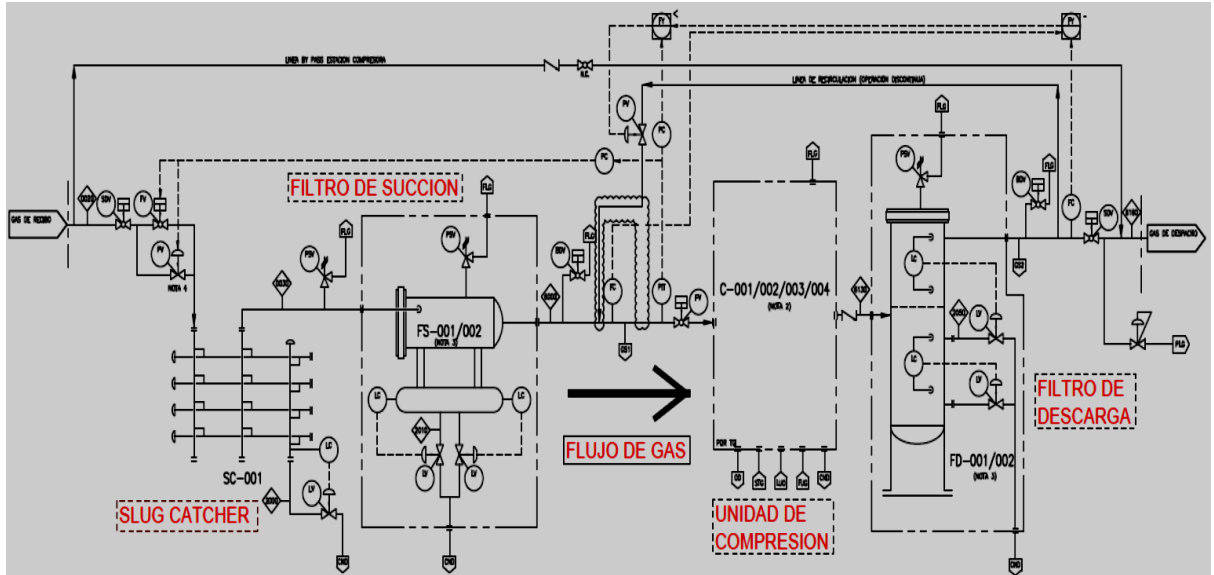
La tarea del operador es ajustar los valores de las variables que deben mantener los diferentes lazos a fin de lograr que la estación responda adecuadamente frente a los cambios en las condiciones operativas para reestablecer nuevamente los valores normales de operación.

1.4.2. Descripción del proceso. La estación de compresión de gas Jagua del Pilar recibe el gas proveniente de la estación de compresión Hatonuevo, a través de una línea de 18" de diámetro nominal, la cual se conecta con el manifold de entrada, el gas es enviado al Slug Cácher, JP-SC-001, en donde se realiza una separación primaria de posibles trazas de líquido asociadas al gas de producción. El gas que sale del Slug Cácher es enviado hacia uno de los dos filtros separadores de succión (JP-FS-001/002), en donde son retenidas las trazas remanentes de gotas de líquido o partículas sólidas que no fueron separadas en el Slug Cácher.

Una vez que el gas ha pasado por las etapas de separación y filtración primarias, éste ingresa a las unidades de compresión (JP-C-001/002/003/004) las cuales son operativas, y cumplen la función de incrementar la presión del gas, para posteriormente pasar por una de las unidades de filtración de descarga (JP-FD-001/002), en donde se retienen las posibles trazas de líquido y partículas de sólidos que pudieron formarse o arrastrarse durante la etapa de compresión. Finalmente, el gas comprimido y filtrado es enviado al manifold de salida de la estación, para ser inyectado nuevamente al gasoducto principal Ballena –

Barrancabermeja para enviarlo a la siguiente estación de compresión, como se aprecia en la figura 3.

Figura 3. Esquemático del proceso.



Fuente: TGI S.A. ESP.

Adicionalmente, para la operación adecuada y segura de la estación, ésta cuenta con los siguientes sistemas auxiliares:

- Sistema de Gas Combustible y Gas de Arranque
- Sistema de aire comprimido.
- Sistema de condensados.
- Sistema de venteos a Tea.
- Sistema de generación eléctrica de respaldo.

A continuación se describen cada uno de los sistemas que hacen parte del proceso en una estación de compresión:

1.4.2.1. Sistema de regulación de presión. Para la regulación de presión a la entrada, se cuenta con una válvula de control de presión (PV-104A), la cual opera cuando se presentan fluctuaciones en la presión de succión, permitiendo controlar la operación de la estación, conjuntamente con la válvula de flujo (XV-104) paralela a la reguladora de presión, adicionalmente el sistema de regulación se utiliza cuando; no está nominada la estación, ya que permite igualar la presión de succión y descarga para permitir abrir la válvula by pass (BA-125) del cabezal de la estación para que el gas siga su recorrido por flujo natural en el gasoducto.

1.4.2.2. Sistema de separación, filtración de succión y medición del gas. El gas que viene por el gasoducto ingresa por la línea de succión a la estación donde se mide la presión (PIT-102) y la temperatura (TIT-103). Sobre esta línea se encuentra una válvula ON/OFF de flujo (XV-104) y en el by pass de esta una válvula reguladora (PV-104A) que permite la regulación en caso de fluctuaciones por aumento de la presión de succión, esta válvula actúa cuando la presión medida en el PIT 102 sobrepasa los valores mínimos de la presión (550-850 psig) en la succión de los compresores, una vez ajustada la presión, se normaliza la operación con la válvula de flujo (XV-104) paralela a la regulación de presión (PV-104A).

Para poner en línea la estación (Poner en operación los compresores), se requiere hacer caer la presión de succión alrededor de 600 psig, hasta que la presión de operación completa se estabilice.

De aquí pasa por el Slug Catches (SC-001) separador primario donde se separan los líquidos o Slug, este equipo está conformado por un colector de entrada y un colector de salida de 20 pulgadas de diámetro nominal cada uno, cuenta con cuatro (4) dedos de 24 pulgadas de diámetro nominal cada uno y un colector de condensados de 20 pulgadas. Este equipo cumple dos funciones: La primera consiste en realizar una separación primaria de posibles gotas de líquido

asociadas al gas transportado proveniente de la estación de compresión Hatonuevo. La segunda función es retener en caso de producirse un Slug (Bache de líquidos), el equipo está diseñado para acumular un volumen de Slug de 2.5 Barriles; y el tiempo de vaciado del Slug será como máximo de 5 horas, en la figura 4 se muestra el Slug Cácher.

Figura 4. Slug Cácher.

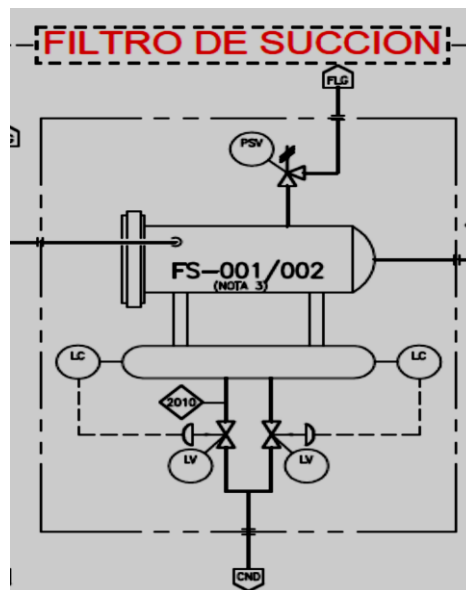


Fuente: El autor.

El retiro de los líquidos del colector se realiza en esta parte inferior mediante el lazo de control compuesto por un controlador (LIC-502) que manipula la válvula de control (LV-502) ubicada sobre la línea de condensados, este fluido es llevado por un cabezal hasta el tanque de condensados (JP-V-003). Se cuenta con alarmas de alto nivel (LAH), alto-alto nivel (LAHH) y bajo-bajo nivel (LSLL) para los condensados, como se muestra en la figura 5.

Los Filtros Separadores de Succión son del tipo horizontal, conformados por dos recipientes, uno superior y uno inferior. El recipiente superior de 48 pulgadas de diámetro interno, cuenta con una cámara que contiene los elementos filtrantes (cartuchos), y una caja de chicanas. El recipiente inferior de 18 pulgadas de diámetro interno en donde se colecta el líquido filtrado, está dividido en dos secciones que forman dos cámaras idénticas, las cuales se comunican de manera independiente con el recipiente superior. Ambos recipientes tienen una longitud de 144 pulgadas como se muestra en la figura 7.

Figura 7. Esquemático del filtro separador de succión



Fuente: TGI S.A.ESP.

Cuenta con un medidor de presión (PIT-114/115) con alarma por alta presión al sistema de Shutdown, dos (2) visores de nivel (LG-118/128), dos (2) switch de bajo-bajo nivel (LSLL) con alarma y cuatro (4) switch de alto-alto nivel (LSHH), dos (2) switch de alto-bajo nivel (LSHL) que envían una señal al controlador de nivel (LIC 801/804) que manipula la válvula de control (LV-110/108) la cual permite el envío de los condensados a través de un cabezal hasta el tanque de condensados

(V-003). Se dejaron las facilidades para cambio de operación a stand by de cada uno de los filtros.

Como protección en caso de expansión térmica en cada uno de los filtros separadores se tienen válvulas de alivio PSV-450 para el filtro FS-001 y PSV-451 para el filtro FS-002 diseñadas para la condición de fuego que en caso de dispararse envían el gas por el cabezal hacia la tea.

A continuación se mide el flujo de gas a través de medidor ultrasónico (FE-132) para realizar la corrección por presión, se dispone de un transmisor de presión (PIT-133) y un transmisor de temperatura (TIT-135), estos medidores presentan alarmas por alto y bajo flujo con señal al sistema Shutdown. De igual manera los indicadores de presión presentan alarma por baja o alta presión con señal al sistema Shutdown.

Los líquidos separados en esta etapa son conducidos a un tanque de condensados (V-003) de donde posteriormente son descargados a carro-tanques.

Las características de los equipos, las condiciones de operación y de diseño son las contempladas en la tabla 4.

Tabla 4. Característica de diseño Slug Catches y Filtro Separador de Succión.

Servicio	Capacidad	Condicion de Operación (psig @ °F)	Condicion de Diseño (psig @ °F)
Slug Catcher	330 MMSCFD	550-850 @ 89	1320 @ 140
Filtro Separador de Succion	330 MMSCFD	550-850 @ 89	1320 @ 140

Fuente: TGI S.A. ESP.

- **Seguridad y Alarmas correspondientes al Slug Catches y los filtros de succión.** Sobre la línea de succión se ubica el PIT-114 con alarma por alta

y baja presión que acciona la válvula de Shutdown (SDV-801/601/501/502), alta presión generada por cierre de válvulas aguas arriba de la estación compresora, aumento de la presión de descarga de la estación aguas arriba e inadecuada manipulación de la válvula by pass (BA-125) de la estación. Baja presión por acciones como la baja entrega del productor, mayor consumo de gas aguas arriba, rotura de líneas aguas arriba.

El Slug cátcher tiene una alarma de alto-alto nivel (LSHH) que acciona la válvula Shutdown (SDV-01/02), esto con el fin de evitar que el gas arrastre líquidos.

Los filtros separadores (FS-01/02) tienen una alarma de alto-alto nivel (LSHH) que acciona la válvula de Shutdown (SDV-801/601/501/502), esto con el fin de evitar que lleguen líquidos a los compresores.

Sin embargo las válvulas (SDV-801/601/501/502) también pueden ser accionadas en caso de fuego (Fire & Gas), falla por aire o accionamiento manual.

En operación normal las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502) permanecen abiertas, en caso de alguna contingencia estas válvulas se cierran. Solo en caso de incendio el gas contenido en la estación deberá evacuarse por las válvulas de Blowdown (BDV-601/501/502) para las líneas de descarga y gas combustible o por el compresor para la línea de succión, que envían el gas hacia el cabezal de la tea.

1.4.2.3. Sistema de compresión. Después el gas separado, filtrado y medido entra a los paquetes de compresión y enfriamiento. Cada paquete de compresión y enfriamiento viene montado sobre patín, y está compuesto por los siguientes equipos:

- Separador bifásico de succión de 48 pulgadas de diámetro externo, y 98 $\frac{3}{4}$ pulgadas de longitud. MAWP 1000 psig @ 200 °F.

- Dos botellas de succión de 24 pulgadas de diámetro externo, y 79 pulgadas de longitud (T/T). MAWP 1000 psig @ 200 °F.
- Compresor alternativo Ariel JGC/4 de una etapa, accionado por motor a combustión interna a gas marca Caterpillar modelo G-3612.
- Dos botellas de descarga de 24 pulgadas de diámetro externo, y 144 pulgadas de longitud (T/T). MAWP 1350 psig @ 350 °F.
- Un Aero-enfriador marca Air X Changers modelo 132 F3 de tres (3) ventiladores

Sobre la línea de succión de los compresores (C-01/02/03/04) se encuentra una válvula de flujo (XV-137/138/139/140) que permite el ingreso del gas a los compresores, estas válvulas tienen un by pass con una válvula (FV-152/153/154/155) de dos pulgadas para permitir la presurización de las líneas. En la figura 8 se muestra una de las unidades de compresión.

Figura 8. Sistema de compresión.



Fuente: El autor.

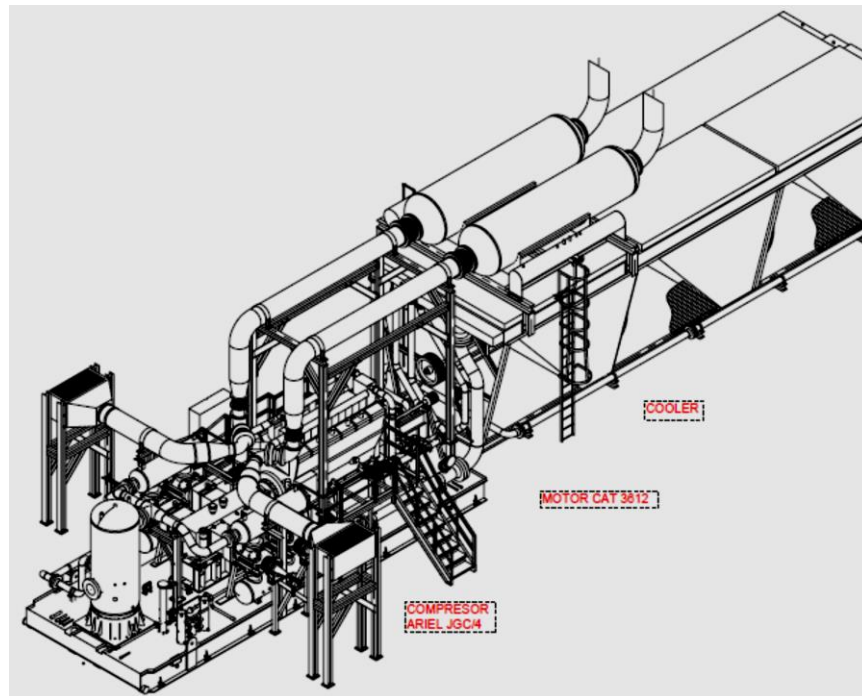
El gas seco ingresa en la succión de cada compresor pasando por un Scrubber vertical que separa el gas del condensado. En la línea de descarga se ubica un

PIT-200/201/202/203 y un TIT-204/205/206/207 con alarma de alto y con señal del sistema Shutdown de los compresores.

En esta etapa el gas es comprimido en un rango entre 1050 y 1200 psig y luego enfriado a través de un air fan cooler, en total se tienen cuatro (4) unidades de compresión.

Las unidades de compresión tipo recíprocante están conformadas por motor (CAT3612), compresor (ARIEL JGC/4), enfriador de aire (Air X Changers 132 F3) como se muestra en la figura 9.

Figura 9. Esquemático de las unidades de compresión.



Fuente: TGI S.A. ESP.

Las características de los equipos, las condiciones de operación se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Condiciones de diseño unidades de compresión.

Servicio	Capacidad	Condicion de Operación (psig @ °F)	Potencia por unidad (Hp)
Compresor Reciprocante de Gas (Motor CAT3612, Compresor ARIEL JGC/4, Cooler Air X Changer 132 F3)	110 MMSCFD	Presion de succion 550-850 @ 89 Presion de descarga 1050-1200 @ 120	3550

Fuente: TGI S.A. ESP.

- **Seguridad y alarmas del sistema de compresión**

El compresor tiene su propio sistema de válvulas de alivio (PSV) que están incluidas dentro del paquete de compresión. Adicionalmente, los compresores tienen su propio sistema de Shutdown, que hace parte del paquete de compresión.

1.4.2.4. Sistema de filtración en la descarga y medición de gas. El gas comprimido pasa por un filtro coalescente (FD-01/02) del tipo vertical, conformados por dos cámaras, una superior y una inferior. La cámara superior de 48 pulgadas de diámetro interno contiene los elementos filtrantes (cartuchos), y la cámara inferior del mismo diámetro que la cámara superior contiene una caja de chicanas. En la cámara inferior se colectan los líquidos retenidos en la unidad de filtración, la función que cumplen estos equipos es retener los condensados o líquidos asociados al gas, así como partículas sólidas que pueden ser arrastradas una vez que el gas es comprimido en las unidades de compresión. En el separador mostrado en la figura 10, se encuentra un medidor de presión diferencial (PDIT-213/214) que indica en qué momento se debe realizar el cambio de los elementos filtrantes del separador, igualmente se tiene una alarma por alta presión diferencial con señal al sistema Shutdown, esta alarma indica al operador la necesidad de cambiar el filtro en operación al de stand by y realizar el mantenimiento al filtro que presenta alarma.

Figura 10. Sistema de filtración en la descarga y medición de gas.



Fuente: El autor.

También se encuentra un medidor de presión (PIT-231/232) con alarma de alta presión al sistema Shutdown, dos (2) visores de nivel (LG), cuatro (4) switch de nivel de alto-alto nivel (LSHH) y dos (2) switch de alto-bajo nivel (LSHL) que envía una señal al controlador de nivel (LIC-601/604) que acciona la válvula de control (LV-208/210) la cual permite el envío de los líquidos separados en esta etapa a un tanque de condensados (V-003) de donde posteriormente son descargados a carro-tanques.

Se cuenta con las facilidades necesarias en tubería para cambiar de operación a stand by cada uno de los filtros.

Las características de los equipos, las condiciones de operación y de diseño están incluidas en la tabla 6.

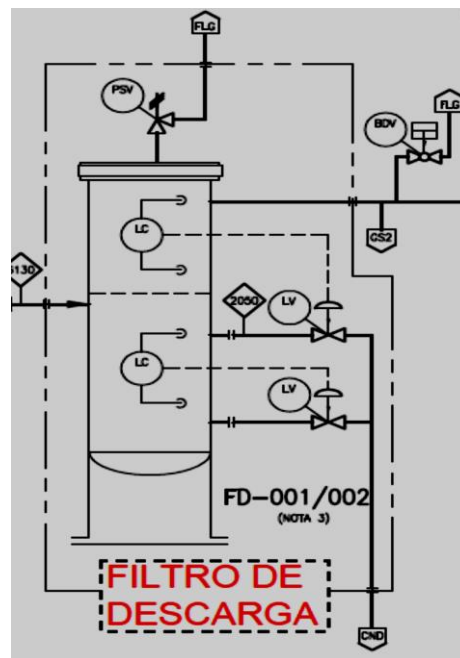
Tabla 6. Condiciones de diseño filtro coalescente de descarga.

Servicio	Capacidad	Condicion de Operación (psig @ °F)	Condicion de Diseño (psig @ °F)
Filtro Coalescente de descarga	330 MMSCFD	1050-1200 @ 120	1320 @ 170

Fuente: TGI S.A. ESP.

Como protección en cada uno de los filtros coalescentes se tiene una válvula de alivio (PSV-452 para el filtro de descarga FD-001 y la PSV-453 para el filtro FD-002), que en caso de dispararse envía el gas por el cabezal hacia la tea, como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Esquemático de filtro coalescente de descarga.



Fuente: TGI S.A. ESP.

El gas sale del filtro y es medido el flujo de gas a través de un medidor ultrasónico (FE-233) con corrección por presión (PIT-243) y por temperatura (TIT-235). Estos medidores presentan alarma por bajo flujo con señal al sistema de Shutdown. De la misma manera los PIT-601/604 asociados a la medición de flujo, presentan alarma por baja presión con señal al sistema de Shutdown y los TIT-601/602 presentan alarma por baja temperatura con señal al sistema de Shutdown.

- **Seguridad y alarmas del filtro coalescente de descarga.**

Los filtros separadores (FD-01/02) tienen una alarma alto-alto nivel (LSHH) que acciona las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502), esto con el fin de evitar que se arrastren líquidos con el gas.

En la medición de la línea de descarga se ubica el PIT-601/604 con alarma por bajo nivel de presión que acciona la válvula de Shutdown (SDV-801/601/501/502), baja presión generada por acciones como rotura de líneas aguas debajo de la estación, cierre de válvulas.

Sin embargo, las válvulas (SDV-801/601/501/502) también pueden ser accionadas en caso de fuego (Fire & Gas), falla por aire o accionamiento manual.

En operación normal las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502) permanecen abiertas, en caso de alguna contingencia estas válvulas se cierran. Solo en caso de incendio el gas contenido en la estación deberá evacuarse por las válvulas de Blowdown (BDV-601/501/502) para las líneas de descarga y gas combustible o por el compresor para la línea de succión, que envían el gas hacia el cabezal de la tea.

1.4.2.5. Sistema de alivio y tea. En condiciones anormales de operación en la estación, todo el gas proveniente de los relevos de las válvulas de alivio (PSV-452/453) ubicadas sobre las diferentes líneas son enviadas a la tea (FL-JP-01) a través de un cabezal común y por medio de este al Knock Out Drum (D-JP-01) como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Sistema de alivio y tea



Fuente: El Autor.

La tea (FL-01) tiene un piloto que para su encendido cuenta con un sistema electrónico que le da inicio. Para su monitoreo y control cuenta con un sensor de temperatura localizado cerca del piloto que transmite señal al panel de control para indicar que esta prendido o apagado.

El gas piloto está controlado por la válvula de presión (PCV-506) y por el indicador de presión (PI-507) en la línea de gas piloto.

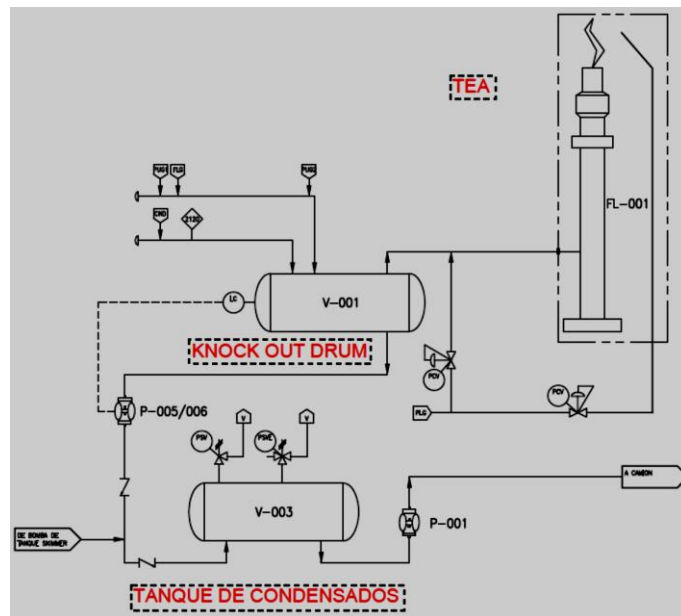
En la parte superior, previo al quemador se tiene un sello molecular cuya función es prevenir la entrada de aire al elevador de la tea y minimizar la posibilidad que una mezcla explosiva se forme en la misma, lo cual puede ocasionar retro-llama; el sello actúa como una cápsula de burbujeo mediante la cual se crea una barrera por la flotabilidad de un gas de purga más liviano que el aire, obteniéndose una zona donde la presión es mayor que la atmosférica.

En el tambor del Knock Out Drum (D-JP-01) se encuentra un medidor de presión (PI-503), un switch de alto-alto nivel (LSHH), un visor de nivel (LG) y un transmisor de nivel (LIT-502) con un alarma de alto nivel, los condensados recuperados en

este tambor son enviados por gravedad al tambor de condensados (D-JP-03) como se muestra en la figura 13.

En el tanque de condensados (D-JP-03) se encuentra un visor de nivel (LG), un transmisor de nivel (LIT-503), un transmisor de presión (PIT-507) y alarmas de alto-alto nivel (LSHH) y bajo nivel (LSLL). Este tambor tiene la función de transferir el condensado recuperado en el Knock Out Drum al tanque de condensados (D-JP-01); cuando el nivel en el tanque Knock Out Drum llega a un nivel alto el switch de nivel alto-bajo (LSLH) envía una señal de alto nivel al controlador de nivel (LIC-505) para accionar la válvula de tres vías (LV-501) y por lo tanto el condensado se desplace al tanque de condensados y cuando el switch de nivel (LSLH) envíe una señal de bajo nivel el controlador (LIC-505), este acciona la válvula de tres vías (LV-501) que es controlada por la válvula de presión (PCV-508) y el indicador de presión (PI-506), y envía el gas hacia la línea que ingresa al tambor del Knock Out Drum.

Figura 13. Esquemático del sistema de alivio y Tea.



Fuente: TGI S.A. ESP.

Como protección el tanque de condensados tiene una válvula de alivio (PSV-464) con un set point de 100 psig, que en caso de dispararse envía el gas hacia la tea.

El flujo de gas que sale del Knock Out Drum es medido a través de un medidor ultrasónico, luego es enviado a la tea donde es quemado.

El Knock Out Drum (V-001) cumple dos funciones operativas que pueden producirse de manera simultánea: Separador primario de condensados del gas venteado en la estación y sumidero de condensados presurizado.

Todo el gas es medido en un medidor ultrasónico (FE-502) y enviado a la tea para ser quemado. El cabezal de alivio en su recorrido no puede acumular líquidos por lo cual va con una pendiente hacia el Knock Out Drum para que fluyan los líquidos que son arrastrados por el gas.

El sistema de relevos a la tea incluye un cabezal de relevos, Knock Out Drum (V-001), tanque de condensados (D-JP-03) y una tea (FL-01). El Knock Out Drum de la tea puede recibir los relevos de las válvulas de seguridad (PSV) y Blowdown (BDV) provenientes de los siguientes equipos y líneas;

- Filtro separador de succión (2 válvulas PSV).
- Filtros coalescentes de descarga (2 válvulas PSV)
- Compresores de gas (Válvulas PSV de la unidad de compresión)
- Venteos manuales de compresores (Válvulas del paquete de compresión)
- Tanque gas de arranque de unidades de compresión (Válvula PSV)
- Línea de gas combustible (Válvula PSV).

Las características de los equipos, las condiciones de operación y de diseño son consideradas en la tabla 7.

Tabla 7. Condiciones de diseño Knock Out Drum y Tea.

Servicio	Capacidad	Condicion de Operación (psig @ °F)	Potencia por unidad (Hp)
K.O. Drum	54,3 MMSCFD	5 @ 60	50 @ 110
Tea	54,3 MMSCFD		

Fuente: TGI S.A. ESP.

- **Seguridad y alarmas del Knock Out Drum y Tea.**

En el Knock Out Drum (V-001) se cuenta con un switch de alto-alto nivel (LSHH) que acciona las válvulas de Shutdown (SDV-01/02), esto con el fin de evitar que se arrastren líquidos hacia la tea (FL-JP-01).

En la línea de gas piloto a la tea se tiene un switch de baja presión (PSL) que envía una señal de baja presión al controlador de combustión enviando la estación a Shutdown.

En la tea se tienen detectores de llama (BSL) que envía alarma cuando se apaga la tea, esta alarma acciona las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502).

Sin embargo, las válvulas (SDV-801/601/501/502) también pueden ser accionadas en caso de fuego (Fire & Gas), falla por aire o accionamiento manual.

En operación normal las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502) permanecen abiertas, en caso de alguna contingencia estas válvulas se cierran. Solo en caso de incendio el gas contenido en la estación deberá evacuarse por las válvulas de Blowdown (BDV-601/501/502) para las líneas de descarga y gas combustible o por el compresor para la línea de succión, que envían el gas hacia el cabezal de la tea.

1.4.2.6. Recirculación de la estación. Esta operación se realiza cuando las condiciones en la succión de los compresores van disminuyendo por el alto consumo del gasoducto y se requiere continuar con la operación de la estación sin

modificar las revoluciones de los compresores, se tiene una línea de recirculación descarga-succión de toda la estación la cual evita y mantiene por un tiempo determinado las condiciones mínimas en la succión de los compresores, si la condición de baja presión en la succión continua por mucho tiempo, necesariamente se deben apagar los compresores de manera secuencial para mantener la operación, hasta que la situación indique la necesidad de alinear más compresores. Esta operación de recirculación es la última opción de operación que se tiene dentro de la estación. En la figura 14 se muestra la válvula de recirculación.

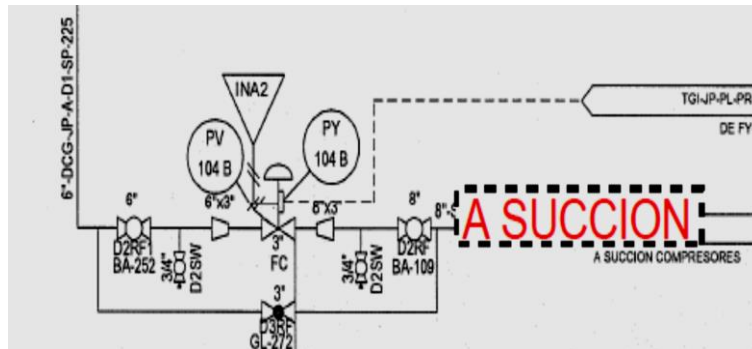
Figura 14. Válvula de recirculación.



Fuente: El autor.

La válvula de recirculación PV-104B actúa cuando la presión medida por el PIT-301 ubicado en el cabezal de succión presenta valores por debajo de los sugeridos para evitar apagar los compresores o modificar revoluciones en los motores. Siempre y cuando la válvula PV-104A ubicada en la succión se encuentre totalmente abierta, la válvula PV-104B mantendrá la presión en el cabezal de succión en los rangos recomendados (580-600 psig), como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Esquemático de la válvula de recirculación.



Fuente: TGI S.A. ESP.

1.4.2.7 Sistema de condensados. El sistema de condensados incluye un cabezal de recolección, un tanque de condensados horizontal de 72.5 pulgadas de diámetro externo y 18 pies de longitud (T/T), adicionalmente cuenta con una bomba de transferencia de condensados.

El tanque de condensados recibe los drenajes de los siguientes equipos:

- Drenaje del Slug C atcher.
- Drenaje de los filtros separadores de succión.
- Drenaje de los filtros coalescentes de descarga.
- Drenaje de los Scrubber de los compresores.
- Drenaje del tanque de condensados.
- Aguas aceitosas del Skimmer.

En el tanque de condensados (D-JP-01), se tiene un control de nivel (LG), un transmisor de nivel (LIT-501) y una alarma de alto nivel (LAH) como se aprecia en la figura 16.

Figura 16. Tanque de condensados.

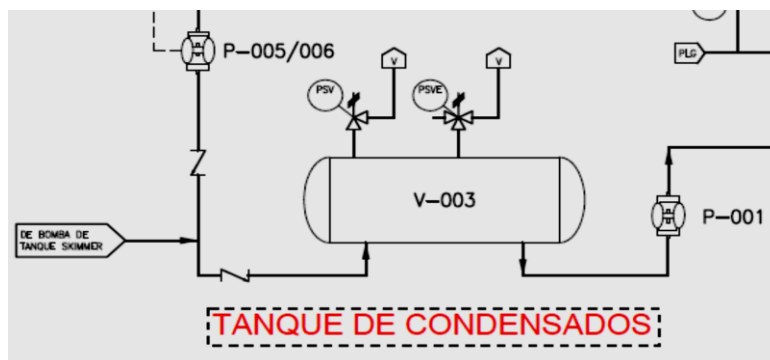


Fuente: El autor.

El Tambor Acumulador de Condensados (V-003) es un recipiente que opera prácticamente a presión atmosférica (0.11 psig); y se lo considera como parte del sistema de drenajes (cerrado), ya que es el último depósito donde se acumulan los condensados de la estación.

Este recipiente cuenta con las siguientes protecciones: Válvula de seguridad (PSV-464), cuyo set es 100 psig. Adicionalmente, el equipo dispone de una válvula de presión y vacío (PSVE-456), que permite proteger al equipo (explosión o implosión) durante operaciones de llenado o vaciado del mismo, como se aprecia en la figura 17.

Figura 17. Esquemático del Tanque de condensados.



Fuente: TGI S.A. ESP.

Las características de los equipos, las condiciones de operación y de diseño son las incluidas en la tabla 8.

Tabla 8. Condiciones de diseño tanque de condensados y bomba de transferencia de condensados.

Servicio	Capacidad	Condicion de Operación (psig @ °F)	Condicion de Diseño (psig @ °F)
Tanque de Condensados	8000 Gal	ATM @ 100	100 @ 150
Bomba de transferencia de condensados	40 GPM	Presión diferencial: 15 psi Potencia hidráulica: 0,4 hp	

Fuente: TGI S.A. ESP.

1.4.2.8 Sistema de aire comprimido. El sistema de aire comprimido está conformado por dos (2) compresores marca Ingersoll Rand (CA-001/002), dos (2) secadores, dos (2) tanques pulmones; uno para aire de instrumentos (V-004) y otro para aire industrial (V-005). Solo uno de los compresores de aire funciona a la vez, el otro queda de reserva en caso de una eventualidad.

El conjunto de compresores está controlado de tal manera que inicia primero el funcionamiento del compresor principal y se alterna con el de reserva, cada uno cuenta con un panel el cual envía sus señales de control y alarmas al cuarto de control.

En la figura 18 se puede observar el cuarto de compresores de aire y la ubicación de los tanques de aire.

Figura 18. Sistema de aire comprimido



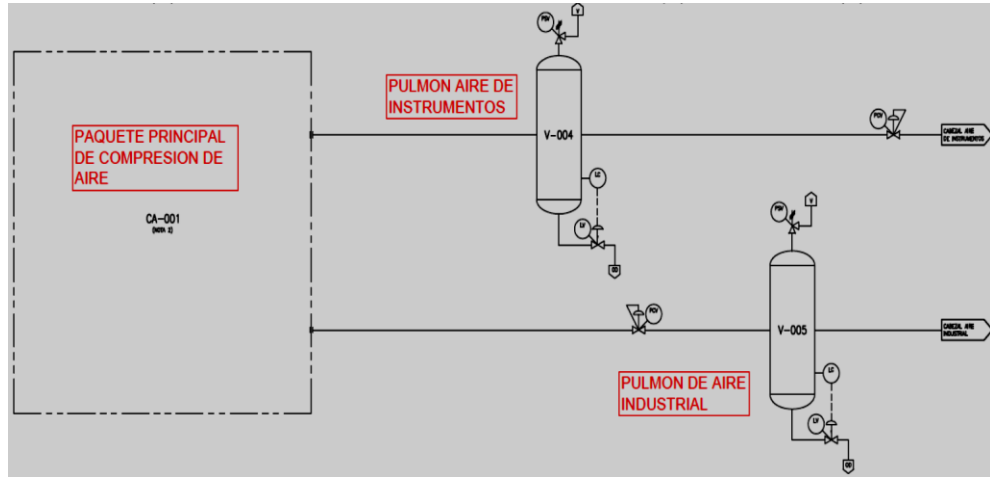
Fuente: El autor.

El tanque pulmón de aire de instrumentos está protegido por una válvula de seguridad (PSV-457). El colector principal de aire de instrumentos cuenta con dos válvulas reguladoras (PCV-612/613) cuyo set se mantiene en 85 y 75 psig, respectivamente.

El aire industrial se obtiene directamente de la descarga de los compresores de aire, no pasa por las etapas de filtrado, secado y post-filtrado; Sin embargo, existe la facilidad para ser tomado de la misma línea del aire de instrumentos.

El tanque pulmón de aire industrial está protegido mediante la válvula de seguridad (PSV-458). El colector principal de aire industrial cuenta con una válvula reguladora de presión (PCV-670) cuyo set se mantiene en 90 psig. La función de esta PCV es priorizar el servicio de aire de instrumentos frente al servicio de aire industrial, en la figura 19 se muestra el sistema.

Figura 19. Esquemático del sistema de aire comprimido.



Fuente: TGI S.A ESP.

Las características de los equipos, las condiciones de operación y de diseño son las incluidas en la tabla 9.

Tabla 9. Condiciones de diseño compresor de aire, tambor acumulador de aire de instrumentos y tambor acumulador de aire industrial.

Servicio	Capacidad	Condicion de Operación (psig @ °F)	Condicion de Diseño (psig @ °F)
Compresor de Aire	196 SCFM	110 @ 105	
Tambor Acumulador Aire de Instrumentos	115 CF	70-110 @ 105	135 @ 160
Tambor Acumulador Aire de Industrial	19 CF	70-110 @ 105	135 @ 160

Fuente: TGI S.A ESP.

1.4.2.9 Sistema de gas combustible y arranque. El sistema de gas combustible y arranque de los motores está conformado por un cabezal independiente que tiene como fuente de alimentación la línea de succión y la línea de descarga de las cuales salen las líneas de gas combustible y arranque que son reguladas, como se muestra en la figura 20.

Figura 20. Sistema de gas combustible y arranque.



Fuente: El autor.

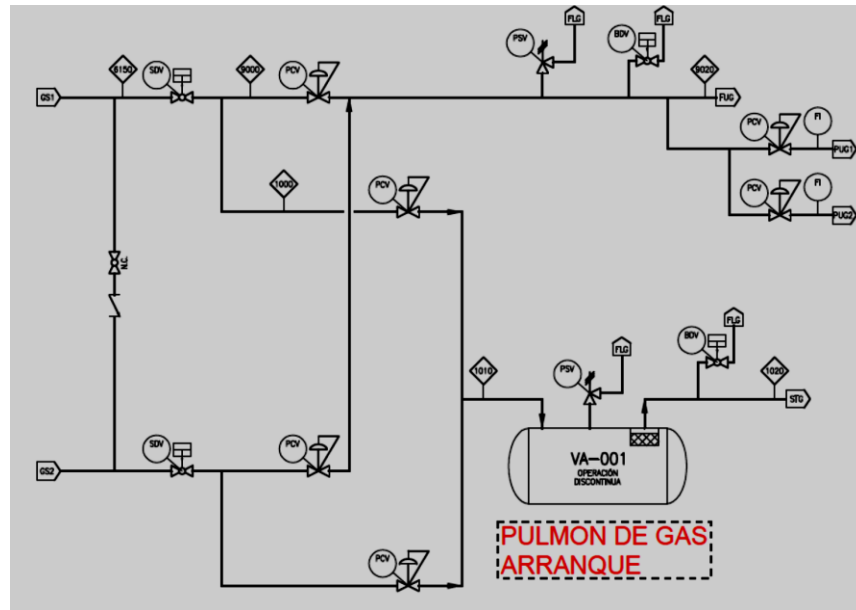
El gas combustible es regulado de la succión por la válvula de control de presión (PCV-301/302) las mismas están calibradas a 150 y 140 psig respectivamente. Es decir que la válvula que opera a mayor valor de calibración permanece completamente abierta, mientras que la válvula que opera a menor valor de calibración es la que realiza la regulación de presión, es decir se regula la presión a 140 psig y en caso de falla en la misma, la válvula con la calibración de valor más alto es la que realiza la regulación.

Si el gas proviene de la descarga de las unidades de compresión, el gas combustible es regulado por la válvula de control de presión (PCV-303/304) las mismas tienen un rango de calibración similar al anotado anteriormente y, cuya operación es análoga a la ya mencionada.

Una vez la presión del gas combustible ha sido regulada, pasa por el medidor tipo coriolis (FE-306), el cual permite medir el caudal de la totalidad del gas combustible que es enviado a los motores de las unidades de compresión, como se muestra en la figura 21.

Adicionalmente, se tiene una válvula de seguridad en la línea de gas combustible (PSV-454) que en caso de dispararse envía el gas por el cabezal hacia la tea.

Figura 21. Esquemático Sistema de gas combustible y arranque.



Fuente: TGI S.A. ESP.

El sistema de gas de arranque opera de forma intermitente únicamente cuando se realiza el arranque de una de las unidades de compresión. El gas de arranque puede ser alimentado desde la succión o desde la descarga de las unidades de compresión.

En caso de alimentarse desde la succión de las unidades de compresión, el gas de arranque es regulado por la válvula de control de presión (PCV-352) cuyo set se mantiene a 150 psig y se alimenta al recipiente (VA-001).

En caso de alimentarse con gas desde la descarga de las unidades de compresión, el gas de arranque es regulado por la válvula de control de presión (PCV-351) cuyo set se mantiene a 150 psig y se alimenta al recipiente (VA-001).

Como protección del tanque de gas de arranque se tiene una válvula de seguridad (PSV-455) que en caso de dispararse envía el gas por el cabezal hacia la tea.

- **Seguridad y alarmas del sistema de gas combustible y arranque**

Sobre la línea de gas combustible y gas de arranque regulados se encuentra una válvula de Shutdown (SDV-501/502), las cuales pueden ser actuadas por las acciones ya mencionadas.

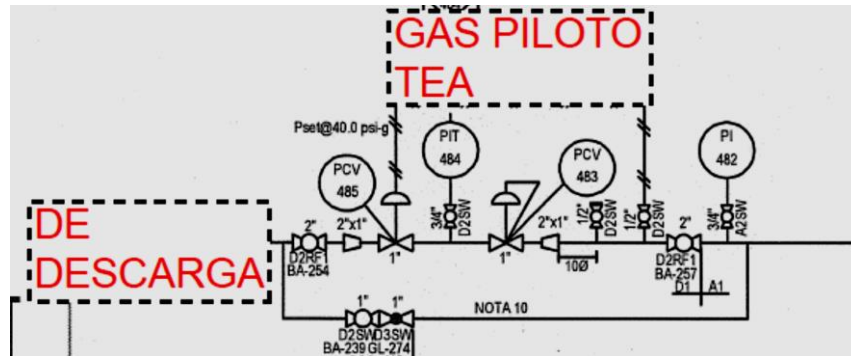
Sin embargo, las válvulas de Shutdown (SDV-501/502) también pueden ser accionadas en caso de fuego (Fire & Gas), falla por aire y accionamiento manual.

En operación normal las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502) permanecen abiertas, en caso de alguna contingencia estas válvulas se cierran. Solo en caso de incendio el gas contenido en la estación deberá evacuarse por las válvulas de Blowdown (BDV-601/501/502) para las líneas de descarga o gas combustible o por el compresor a través de la línea de succión, que envían el gas hacia el cabezal de la tea.

1.4.2.10 Gas a piloto de la tea. El gas a piloto tiene como fuente de suministro la línea de descarga, este gas es regulado a través de una válvula reguladora de presión (PCV-483/485), luego es medido con un medidor de coriolis (FE-504), este tiene alarma por alto flujo con señal al sistema Shutdown. De la misma manera el PIT-484 asociado a la medición de flujo presenta alarma por alta o baja presión con señal al sistema Shutdown, como se muestra en la figura 22.

En la base de la tea este gas es nuevamente regulado a través de la válvula reguladora (PCV-506).

Figura 22. Esquemático sistema de gas piloto de la tea.



Fuente: TGI S.A. ESP.

Para el encendido de la tea se cuenta con dos (2) pilotos en el quemador de la tea. Adicionalmente, se requiere llevar gas combustible al sistema de encendido de pilotos.

- **Seguridad y alarmas del sistema de gas piloto de la tea**

En la línea de gas piloto a la tea se tiene un indicador de baja presión que envía una señal al controlador de combustión enviando la estación a Shutdown.

Sin embargo las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502) también pueden ser accionadas en caso de fuego, falla por aire o accionamiento manual.

En operación normal las válvulas de Shutdown (SDV-801/601/501/502) permanecen abiertas, en caso de alguna contingencia estas válvulas se cierran. Solo en caso de incendio el gas contenido en la estación deberá evacuarse por las válvulas de Blowdown (BDV-601/501/502) para las líneas de descarga o gas combustible o por el compresor a través de la línea de succión, que envían el gas hacia el cabezal de la tea.

1.4.2.11 Sistema de generación eléctrica. La estación de compresión de gas Jagua del Pilar dispone de un grupo electrógeno (GE-001) compuesto con un motor marca Perkins y un generador Stanford de 150 KW de potencia, y con una tensión de generación de 208V-3F-60Hz, la figura 23 muestra el grupo electrógeno.

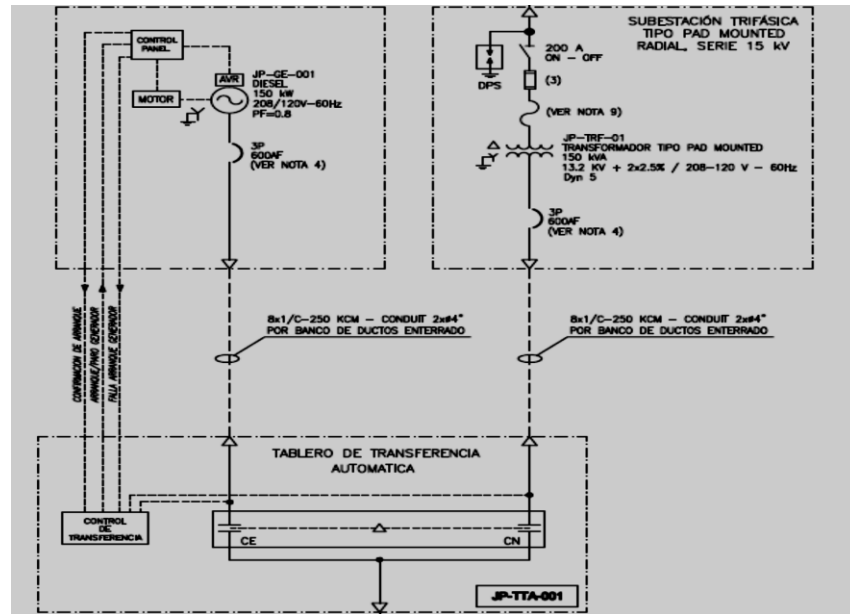
Figura 23. Grupo electrógeno.



Fuente: Autor.

El generador eléctrico entra en funcionamiento únicamente cuando no se dispone de energía eléctrica proveniente de la red local, la figura 24 muestra el conexionado del grupo electrógeno.

Figura 24. Esquemático de conexionado.



Fuente: TGI S.A. ESP.

Este equipo corresponde a un moto-generador que opera con combustible Diésel y está montado sobre un patín. Además cuenta con un tablero de transferencia automática y con un tanque de almacenamiento de combustible Diésel, instalado en el patín.

La estación dispone además de una unidad de potencia ininterrumpida (UPS) marca TRIPP LITE con un tiempo de autonomía de dos (2) horas a plena carga para alimentar a los siguientes servicios:

- Sistema de control.
- Sistema de seguridad
- Sistema Fire & Gas.
- Panel de ignición de la tea
- Gabinete circuito cerrado de televisión (CCTV)
- Puestos PC en oficina.
- Puestos PC en cuarto de control

- Sistema de 24V.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la empresa TGI S.A. ESP no se tiene implementada una metodología para el análisis de criticidad aplicable desde el punto de vista operativo para determinar la jerarquización de los equipos en las estaciones de compresión de gas, este tipo de metodología es de gran relevancia para la misma, ya que actualmente la empresa cuenta con trece (13) estaciones de compresión de gas.

Por lo anterior, se requiere seleccionar y aplicar una metodología para determinar desde el punto de vista operativo la jerarquización de los equipos que permita enfocar de manera prioritaria la atención y la destinación de recursos, según el grado de criticidad de los equipos, lo cual se traduce en una reducción de costos al identificar específicamente los equipos que en caso de presentar falla pueden llegar a generar afectación al programa de transporte diario de gas, la jerarquización de equipos facilita el desarrollo de manera más eficaz de la estrategia de mantenimiento.

Para desarrollar la metodología y realizar la aplicación de la misma, se toma como referencia la estación de compresión de gas Jagua del Pilar, las fallas que generan mayores costos, tiempo de intervención o disponibilidad de repuesto son las que afectan de manera directa el sistema de transporte de gas llegando a ocasionar incumplimientos en las entregas a los remitentes. No contar con este tipo de metodología para la jerarquización de los equipos implica que se destinen recursos técnicos para atender equipos que pueden no ser críticos para la operación de una estación de compresión y descuidar los realmente críticos.

1.6 OBJETIVOS

1.6.1 Objetivo general. Determinar desde el punto de vista operativo los equipos críticos en la estación de compresión de gas Jagua del Pilar propiedad de TGI S.A. ESP.

1.6.2 Objetivos específicos

- Describir una estación de compresión de gas y su proceso operativo.
- Identificar las metodologías para determinar la criticidad de equipos y seleccionar la más adecuada a una estación de compresión de gas.
- Aplicar la metodología seleccionada para definir el modelo de criticidad de equipos para una estación de compresión de gas.
- Identificar y priorizar los equipos críticos de una estación de compresión de gas.

1.7 JUSTIFICACIÓN

Con esta monografía se pretende a partir de una revisión bibliográfica sobre las metodologías que actualmente tienen mayor aplicabilidad para determinar la criticidad de equipos con un enfoque operativo, seleccionar una de estas metodologías y aplicarla para determinar los equipos críticos desde el punto de vista operativo para una estación de compresión de gas, ya que actualmente no se tiene un modelamiento específico que aplique para este tipo de instalaciones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANALISIS DE CRITICIDAD¹

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual.

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable.

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia (1)}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente. En función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción

¹ HUERTA Rosendo, "El análisis de criticidad, una Metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional" Mantenimiento industrial, Octubre 2011.

- Costos (operacionales y de mantenimiento)
- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

Emprender un análisis de criticidad tiene su máxima aplicabilidad cuando se han identificado al menos una de las siguientes necesidades:

- Fijar prioridades en sistemas complejos
- Administrar recursos escasos
- Crear valor
- Determinar impacto en el negocio
- Aplicar metodologías de confiabilidad operacional

El análisis de criticidad aplica en cualquier conjunto de procesos, plantas, sistemas, equipos y componentes que requieran ser jerarquizados en función de su impacto en el proceso o negocio donde formen parte. Sus áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

2.2 MÉTODOS PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

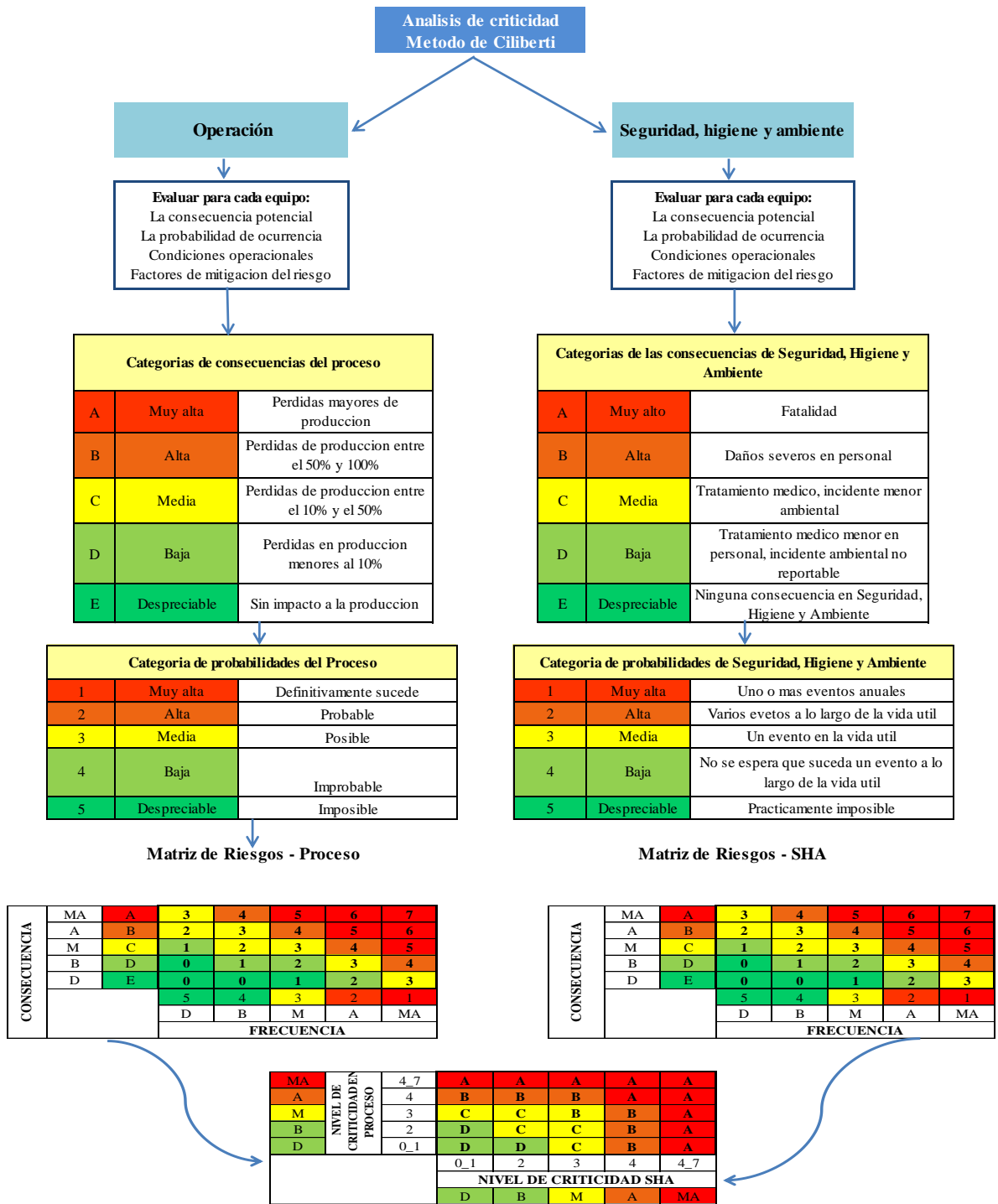
Entre las metodologías de más amplia aceptación en la industria de procesos se encuentran las siguientes:

2.2.1 Método de Ciliberti.² Este método tiene un enfoque de carácter cualitativo, combina dos (2) matrices de criticidad; una construida desde la óptica de seguridad de los procesos y otra enfocada desde el impacto en la producción. Ambas matrices se integran en una matriz de criticidad global para obtener la criticidad total del equipo estudiado. Es el más completo de los métodos, ya que considera las probabilidades y consecuencias en las áreas de seguridad, higiene y ambiente, y separadamente producción, luego une los resultados.

El análisis inicia cuando el analista evalúa las consecuencias del criterio de seguridad, higiene y ambiente y el criterio de proceso del activo a ser analizado. Según los datos de entrada, los cuales son: las condiciones operacionales, probabilidad, consecuencia, perdida de producción, otros, los valores arrojados por el análisis se introducen en la matriz correspondiente a cada criterio (Primera matriz), logrando como resultado la criticidad para el criterio seguridad, higiene y ambiente. Para el criterio de proceso, estos valores se introducen en la segunda matriz para ajustar los niveles de criticidad obtenidos de la matriz anterior, con el fin de obtener el nivel de criticidad para el activo analizado. Finalmente, ambos resultados se combinan en una matriz resultante como se muestra en la figura 25.

² GUTIERREZ Edwin, AGÜERO Miguel, CALIXTO Ivaneska. "Análisis de criticidad integral de activos" R2M. S.A. Reability and Risk Management. Mayo 2007.

Figura 25. Esquema del análisis de criticidad según Ciliberti.



Fuente: GUTIERREZ Edwin, AGÜERO Miguel, CALIXTO Ivanessa. "Análisis de criticidad integral de activos" R2M. S.A. Reability and Risk Management. Mayo 2007.

2.2.2 Metodología de análisis de criticidad de los puntos.³ Las estructuras de criticidad que provee la llamada “metodología de los puntos” tiene su origen en el movimiento de mejora de la confiabilidad de los procesos productivos que se inició en la industria petrolera del mar del norte en la década del 90 (Manual de criticidad PDVSA-CIED) y hoy es ampliamente utilizada en la industria petrolera; por supuesto con múltiples adecuaciones y modificaciones.

La base fundamental de este enfoque es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad; y de una matriz cuyos rangos de frecuencia y consecuencia se expresan en “puntos”.

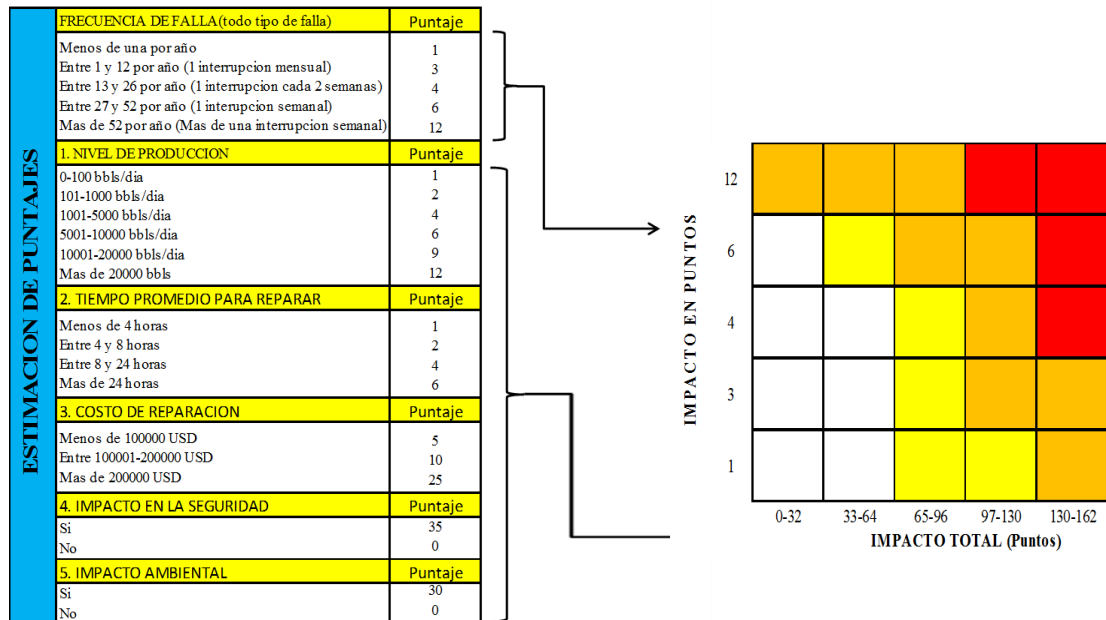
La ecuación base para el cálculo de criticidad en esta metodología es la siguiente:

$$\text{CRITICIDAD} = \text{Frecuencia de falla} \times ((\text{Nivel de producción} \times \% \text{ de impacto} \times \text{TPPR}) + \text{Costo de Rep} + \text{Imp. Seg.} + \text{Imp. Amb}) \quad (2)$$

Como todo análisis Semi-cuantitativo, puede ser altamente impactado por la subjetividad en su aplicación, por lo que es recomendable el estudio de las bases o premisas que sustentan el diseño de la matriz de riesgo y la “clara definición” de cada uno de los términos de la ecuación de criticidad para evitar dualidad en la interpretación, Adicionalmente se recomienda la participación de los “equipos naturales de trabajo” en la valoración de la criticidad para minimizar el sesgo y la subjetividad, según se muestra en la figura 26.

³ Ibíd.

Figura 26. Esquema método de puntos



Fuente: GUTIERREZ Edwin, AGÜERO Miguel, CALIXTO Ivaniska. “Análisis de criticidad integral de activos” R2M. S.A. Reability and Risk Management. Mayo 2007.

Finalmente, obtendremos una matriz de prioridades como la mostrada en la figura, donde se zonifican las regiones de prioridades en: Prioridad A (Zona Roja), Prioridad B (Zona Naranja) y Prioridad C (Zona Amarilla).

2.2.3 Método de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo.⁴ El modelo de criticidad de factores ponderados es un método semi-cuantitativo basado en el concepto del riesgo, el cual equivale a las frecuencias de falla por las consecuencias de falla. Fue desarrollado por un grupo de consultoría

⁴ BURGOS, Omar. LOBELO, Alvaro. Estudio de confiabilidad de los equipos críticos de la línea de producción planta 1 de PROPILCO S.A. y la línea de producción compuestos 3 de AJOVER S.A. Monografía de grado especialista en gerencia de mantenimiento. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. 2009.

inglesa denominado: The Woodhouse Partnership Limited⁵. La expresión que se utiliza para jerarquizar los sistemas es la siguiente:

$$\text{Críticidad Total (I)} = \text{Frecuencia de Fallas} \times \text{Consecuencia de Fallas (3)}$$

Donde

Frecuencia de Fallas = Rango de fallas en un tiempo determinado (fallas/año).

Y

Consecuencia de Fallas= ((Impacto operacional x Flexibilidad operacional) + Costos de mantenimiento + Impacto en seguridad, ambiente e higiene) (4)

Los factores ponderados de cada uno de los criterios a ser evaluados por la expresión del riesgo se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Factores ponderados para evaluar la criticidad.

Frecuencia de Fallas:		Costo de Mito.:	
Pobre mayor a 2 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 \$	2
Promedio 1 - 2 fallas/año	3	Inférieur a 20000 \$	1
Buena 0.5 -1 fallas/año	2		
Excelente menos de 0.5 falla/año	1		
Impacto Operacional:		Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):	
Pérdida de todo el despacho	10	Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada del sistema o subsistema y tiene repercusión en otros sistemas.	7	Afecta el ambiente /instalaciones	7
Impacta en niveles de inventario o calidad	4	Afecta las instalaciones causando daños severos	5
No genera ningún efecto significativo sobre operaciones y producción	1	Provoca daños menores (ambiente - seguridad)	3
		No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	1
Flexibilidad Operacional:			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	4		
Hay opción de repuesto compartido/almacen	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: BURGOS, Omar. LOBELO, Álvaro. Estudio de confiabilidad de los equipos críticos de la línea de producción planta 1 de PROPILCO S.A. y la línea de producción compuestos 3 de AJOVER S.A.

⁵ WOODHOUSE, Jhon. Criticality Analysis Revisited. Newbury. 1994.

Estos factores se evalúan en reuniones de trabajo con la participación de las distintas personas involucradas en el contexto operacional (Operaciones, mantenimiento, procesos, seguridad y ambiente). Una vez que se evalúan en consenso cada uno de los factores presentados en la tabla anterior, se introducen en la fórmula de criticidad total (I) y se obtiene el valor global de criticidad. El máximo valor que se puede obtener a partir de los factores ponderados evaluados es 200. Para obtener el nivel de criticidad de cada sistema se toman los valores de cada uno de los factores principales: frecuencia y consecuencia, y se ubican en la matriz de criticidad, el valor de frecuencia en el eje Y, y el valor de consecuencia en el eje X.

De acuerdo al grado de criticidad se clasifican como sigue:

- Área de sistemas No Críticos (NC)
- Área de sistemas de Media-criticidad (MC)
- Área de sistemas Críticos (C)

A continuación se presenta la matriz de criticidad jerarquizada de acuerdo con las áreas de clasificación en la figura 27.

Figura 27. Matriz de Criticidad jerarquizada.

FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		10	20	30	40	50
		CONSECUENCIA				

Fuente: BURGOS, Omar. LOBELO, Álvaro. Estudio de confiabilidad de los equipos críticos de la línea de producción planta 1 de PROPILCO S.A. y la línea de producción compuestos 3 de AJOVER S.A.

Existen otras metodologías para el análisis de criticidad, pero estas están enfocadas específicamente a mantenimiento tales como:

2.2.4 Análisis de Criticidad Basada en API 581.⁶ Este análisis de criticidad se basa en la aplicación de la etapa inicial (Fase de Análisis Cualitativo) del estudio de IBR (Inspección Basada en Riesgo), fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581. Esta metodología permite calcular la criticidad (riesgo) con base en el análisis del comportamiento histórico, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas.

Esta es una metodología especial de análisis de criticidad para equipos estáticos y solo aplica para aquellos equipos cuyo principal mecanismo de deterioro es la corrosión.

2.2.5 Análisis de Criticidad para Propósitos de Mantenimiento según NORSOK STANDARD Z-008 Rev. 2, Nov. 2001.⁷ El propósito del estándar NORSOK Z-008 es mucho más amplio que el de las metodologías de criticidad previamente expuestas, ya que no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de

⁶ CARRALERO, Katia. ZARAGOZA, Bernardo. ACOSTA, Riolvi. CORRALES, Dayrien. "Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA)" 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Cancún, México. August 14-16, 2013.

⁷ *Ibíd.*

producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción).

El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo y gas nuevos y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes. El estándar NORSOK Z-008 aplica para Equipos Mecánicos (estáticos y rotativos), Instrumentos y Equipos Eléctricos. Están excluidas del alcance de esta Norma las Estructuras de Carga Rodante, Estructuras flotantes, Raisers y gasoductos/oleoductos.

3. APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

3.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS

Los equipos que hacen parte de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar, fueron clasificados por sistemas, los equipos serán identificados, según lo establecido en los P&ID correspondientes.

Se identificaron doce (12) sistemas entre los cuales se tienen;

- Sistema de interconexión gasoducto - Slug Cátcher.
- Sistema de separación-filtración de succión.
- Sistema de compresión
- Sistema de separación-filtración de descarga
- Sistema de gas combustible.
- Sistema de gas de arranque.
- Sistema de gas piloto (tea) y gas purga.
- Sistema Knock Out Drum.
- Sistema de condensados.
- Sistema de aire de instrumentos
- Sistema de aire industrial.
- Sistema de generación de eléctrica.

Fueron excluidos del análisis los equipos que hacen parte del sistema de detección de gas y fuego (Fire & Gas) tales como los monitores de atmosferas explosivas, sensores de fuego y sensores de humo, ya que para la empresa estos equipos están identificados como fundamentalmente críticos.

A continuación se listaran los equipos o componentes que hace parte de cada uno de los doce (12) sistemas a evaluar.

3.1.1 Sistema de interconexión Gasoducto - Slug Cátcher. En la tabla 11 se incluyen los elementos a evaluar correspondientes al sistema de interconexión gasoducto-Slug Cátcher.

Tabla 11. Equipos del sistema de interconexión Gasoducto-Slug Cátcher.

INTERCONEXIÓN GASODUCTO-SLUG CÁTCHER		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de Shutdown 18"	SDV-101
2	Válvula de bola de 2"	BA-110
3	Tubería Interconexión Gasoducto-Slug Cátcher	SC-001
4	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-102
5	Transmisor indicador de temperatura (89-140 °F)	TIT-103
6	Válvula ON/OFF 18"	XV-104
7	Válvula de control de presión 12"	PV-104A
8	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-459
9	Válvula de control de nivel 1"	LV-502
10	Válvula de bola 18"	BA-125
11	Válvula de Shutdown 18"	SDV-239

Fuente: El autor.

3.1.2 Sistema de separación-filtración de succión. En la tabla 12 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que hacen parte del sistema de separación-filtración de succión.

Tabla 12. Equipos sistema de separación-filtración de succión

SEPARACIÓN-FILTRACIÓN DE SUCCIÓN		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de bola 18"	BA-104-105
2	Válvula de bola 2"	BA-117-118
3	Válvula de globo 18"	GL-167-168
4	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-450-451
5	Vasija y tuberías	FS-001-002

6	Transmisor indicador de presión diferencial (0-10 psig)	PDIT-108-109
7	Transmisor indicador de presión	PIT-114-115
8	Calibrador de nivel	LG-118-119
9	Switch de muy alto nivel	LSHH-116-117
10	Calibrador de nivel	LG-128-129
11	Switch de muy alto nivel	LSHH-124-125
12	Válvula de control de nivel 1"	LV-110-111
13	Válvula de control de nivel 1"	LV-112-113
14	Medidor ultrasónico 18"	FE-132
15	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-133
16	Transmisor indicador de temperatura (89-140 °F)	TIT-134
17	Válvula de bola 18"	BA-106
18	Válvula de Blowdown 3"	BDV-402
19	Válvula de bola 2"	BA-120

Fuente: El autor.

3.1.3 Sistema de Compresión. En la tabla 13 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que hacen parte del sistema de compresión.

Tabla 13. Equipos sistema de compresión

COMPRESIÓN DE GAS		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula ON/OFF 12" presurización del compresor	XV-137-138-139-140
2	Válvula ON/OFF 2" presurización del compresor	XV-151-152-153-154
3	Válvula de bola 2"	BA-121-122-123-124
4	Válvula de control de presión 2"	PV-152-153-154
5	Unidad compresora	C-001-002-003-004
6	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-141-142-143-144
7	Transmisor indicador de presión (1050-1200 psig)	PIT-200-201-202

8	Transmisor indicador de temperatura	TIT-204-205-206-207
9	Válvula de bola 10"	BA-200-201-202-203
10	Válvula de bola 12"	BA-454-455-456-457
11	Válvula de seguridad (1000 psig)	PSV-460-461-462-463

Fuente: El autor.

3.1.4 Sistema de Separación-Filtración de Descarga. En la tabla 14 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que hacen parte del sistema de separación-filtración de descarga.

Tabla 14. Equipos Sistema de Separación-Filtración de Descarga

SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE DESCARGA		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de bola 18"	BA-204-205
2	Válvula de bola 2"	BA-255-256
3	Válvula de globo 2"	GL-270-271
4	Vasija y tuberías	FD-001-002
5	Válvula de control de nivel	LV-208-209
6	Válvula de control de nivel	LV-210-211
7	Calibrador de nivel	LG-215-216
8	Switch de muy alto nivel	LSHH-221-222
9	Calibrador de nivel	LG-217-218
10	Switch de muy alto nivel	LSHH-225-226
11	Indicador Transmisor de presión diferencial (0-10 psig)	PDIT-213-214
12	Transmisor indicador de presión	PIT-231-232
13	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-452-453
14	Válvula de control 3"	PV-104B
15	Válvula de bola 3"	GL-272
16	Válvula de bola 18"	BA-206
17	Válvula de Blowdown 3"	BDV-400
18	Válvula de bola 3"	BA-251

Fuente: El autor.

3.1.5 Sistema de gas combustible. En la tabla 15 se incluyen los equipos o componentes a evaluar del sistema de gas-combustible.

Tabla 15. Equipos sistema de gas combustible.

GAS DE COMBUSTIBLE		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de Shutdown 3"	SDV-300
2	Válvula auto reguladora de presión 1"	PCV-301
3	Válvula auto reguladora de presión 1"	PCV-302
4	Válvula de bola 3"	GL-165
5	Válvula auto reguladora de presión 1"	PCV-303
6	Válvula auto reguladora de presión 1"	PCV-304
7	Válvula de bola 1"	GL-277
8	Caudalímetro de coriolis	FE-306
9	Transmisor de caudal másico	FIT-306
10	Transmisor indicador de presión	PIT-307
11	Sensor de temperatura	TE-308
12	Transmisor indicador de temperatura	TIT-308
13	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-454
14	Válvula de Blowdown 2"	BDV-404
15	Válvula de bola 2"	BA-302

Fuente: El autor.

3.1.6 Sistema gas de arranque. En la tabla 16 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que hacen parte del sistema de gas de arranque.

Tabla 16. Equipos sistema gas de arranque.

GAS DE ARRANQUE		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de bola 3"	BA-108
2	Válvula auto-reguladora de presión 1"	PCV-352
3	Válvula de globo 1"	GL-178
4	Tanque gas de arranque	VA-001
5	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-455

6	Válvula auto-reguladora de presión 1"	PCV-351
7	Válvula de globo 1"	GL-276
8	Válvula de Shutdown 3"	SDV-350
9	Transmisor indicador de presión	PIT-356
10	Transmisor indicador de temperatura	TIT-357
11	Válvula Blowdown 2"	BDV-405
12	Válvula de bola 2"	BA-356

Fuente: El autor.

3.1.7 Sistema de gas piloto (Tea) y gas purga. En la tabla 17 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que corresponden al sistema de gas piloto (Tea) y gas purga.

Tabla 17. Equipos sistema de gas piloto (Tea) y gas purga.

GAS PILOTO (Tea) Y GAS PURGA		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula auto-reguladora de presión 1" (10 psig)	PCV-486
2	Válvula de globo 1"	GL-490
3	Transmisor indicador de presión	PIT-487
4	Válvula auto-reguladora de presión 1" (10 psig)	PCV-489
5	Válvula de globo 1"	GL-491

Fuente: El autor

3.1.8 Sistema de Knock Out Drum. En la tabla 18 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que hacen parte del sistema Knock Out Drum.

Tabla 18. Equipos del sistema Knock Out Drum.

KNOCK OUT DRUM		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Calibrador de nivel	LG-415
2	Switch de muy alto nivel	LSHH-418
3	Bomba de condensados 1	P-005
4	Válvula de Bola 3"	BA-513
5	Bomba de condensados 2	P-006

6	Válvula de Bola 3"	BA-514
7	Vasija y tuberías	V-001

Fuente: El autor.

3.1.9 Sistema de acumulación de condensados. En la tabla 19 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que corresponden al sistema acumulador de condensados.

Tabla 19. Equipos sistema acumulador de condensados.

ACUMULADOR DE CONDENSADOS		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de presión y vacío (0,11,-0,03 psig)	PSVE-456
2	Válvula de seguridad (100 psig)	PSV-464
3	Vasija y tuberías	V-003
4	Visor de nivel	LG-508
5	Transmisor indicador de nivel magnético	LIT-509

Fuente: El autor.

3.1.10 Sistema de aire industrial. En la tabla 20 se incluyen los equipos o componentes a evaluar correspondientes al sistema industrial.

Tabla 20. Equipos sistema de aire industrial.

AIRE INDUSTRIAL		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-458
2	Vasija y tuberías	V-005
3	Transmisor indicador de presión	PIT-674
4	Válvula auto-reguladora de presión 1"	PCV-670
5	Válvula de globo 1"	GL-694
6	Transmisor indicador de presión	PIT-679

Fuente: El autor.

3.1.11 Sistema de aire de instrumentos. En la tabla 21 se incluyen los equipos o componentes a evaluar que correspondientes al sistema de aire de instrumentos.

Tabla 21. Equipos sistema aire de instrumentos.

AIRE DE INSTRUMENTOS		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-457
2	Vasija y tuberías	V-004
3	Transmisor indicador de presión	PIT-609
4	Válvula auto-reguladora de presión 1" (85 psig)	PCV-612
5	Válvula auto-reguladora de presión 1" (75 psig)	PCV-613
6	Transmisor indicador de presión	PIT-614

Fuente: El autor.

3.1.12 Sistema eléctrico principal y de emergencia. En la tabla 22 se incluyen los equipos o componentes a evaluar correspondientes al sistema eléctrico y de emergencia.

Tabla 22. Equipos sistema eléctrico principal y de emergencia.

SISTEMA ELÉCTRICO PRINCIPAL Y DE EMERGENCIA		
Ítem	Descripción	Identificación
1	Transformador 150 kVA	TRF-001
2	Grupo generador de emergencia 150 KV	GE-001
3	Tablero de seccionamiento general (600A)	TSG-01
4	Tablero de transferencia automática (600A)	TTA-01
5	UPS 10kVA	UPS-01

Fuente: El autor.

3.2 METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para realizar el análisis de criticidad se aplicó el juicio de expertos que contó con la participación de un equipo de trabajo conformado por: personal de

mantenimiento, operaciones, confiabilidad y un facilitador que en este caso fue el autor del presente documento.

La aplicación de la metodología considero como requerimiento básico la siguiente información; filosofía de operación, planos de planta, listado de equipos. Esta información es necesaria para establecer criterios de evaluación.

3.2.1 Selección de la metodología. Una vez revisada la información recopilada y la aplicabilidad de las mismas, se identificó que la metodología más adecuada para el análisis de criticidad con enfoque operacional, es el método de criticidad de factores ponderados basado en el concepto del riesgo (Análisis semi-cuantitativo) tratado en el ítem 2.2.3 del marco teórico. Este método considera cinco criterios de decisión:

- Frecuencia de falla.
- Impacto operacional.
- Flexibilidad operacional.
- Costos de asociados.
- Impacto en seguridad, higiene y ambiente.

3.2.2 Establecimiento de los criterios. Los factores parametrizados por esta metodología y los valores de cada criterios, fueron evaluados y ajustados en las reuniones de trabajo realizadas con la participación de personal técnico de campo y profesional directamente relacionados con el ámbito operacional (Operaciones, mantenimiento, confiabilidad, seguridad y ambiente), a continuación presenta el resultado y la definición de estos factores junto con la valoración establecida para cada uno de ellos.

3.2.2.1 Frecuencia de falla. Este factor determina, si existen fallas y en qué cantidad.

En la tabla 23 se incluyen los criterios ajustados de acuerdo a la experiencia y según la evaluación conjunta realizada para la frecuencia de falla, utilizando como referencia la metodología de criticidad de factores ponderados.

Tabla 23. Criterios frecuencia de falla.

Frecuencia de falla	Valoración
Más de dos (2) fallas al año	4
Entre una (1) y dos (2) fallas al año	3
Entre 0,5 y una (1) falla al año	2
Menos de 0,5 fallas al año	1

Fuente: El autor

3.2.2.2 Impacto operacional. Este factor busca evaluar la importancia que tiene el equipo dentro de la operación.

En la tabla 24 se incluyen los criterios ajustados referentes al impacto operacional considerados en la metodología de criticidad de factores ponderados y como resultado del análisis realizado.

Tabla 24. Criterio del impacto operacional.

Impacto operacional	Valoración
Parada de estación o Shutdown	10
Parada de un sistema o equipo	7
Genera algún efecto sobre la operación (Paso de líquido, alarma, quema de gas, pérdida de capacidad de transporte, cambio de equipo en línea, no medición)	4
No afecta la operación	1

Fuente: El autor.

3.2.2.3 Flexibilidad operacional. Este factor conlleva a formular preguntas tales como: existe opción de operación?

En la tabla 25 se incluyen los criterios de flexibilidad operacional considerados y valorados según la metodología de criticidad de factores ponderados y como resultado del análisis realizado.

Tabla 25. Criterio de flexibilidad operacional

Flexibilidad Operacional	Valoración
No existe modo alternativo de operación	4
Equipo puede seguir operando, bypass, manualmente	2
Existe equipo de respaldo	1

Fuente: El autor.

3.2.2.4 Costos asociados. Este factor considera los costos asociados a la falla.

En la tabla 26 se incluyen los criterios ajustados y cuya valoración corresponde a la metodología de criticidad de factores ponderados y el análisis realizado.

Tabla 26. Criterio de costos asociados

Costos asociados	Valoración
Mayor o igual a 30.000 Dólares	2
Menor de 30.000 Dólares	1

Fuente: El autor.

3.2.2.5 Impacto en seguridad, higiene y ambiente. Es factor considera la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, al medio ambiente o las instalaciones.

En la tabla 27 se incluyen los criterios ajustados y cuya valoración corresponde a la metodología de criticidad de factores ponderados y condiciones analizadas.

Tabla 27. Criterio de impacto en seguridad, higiene y ambiente.

Impacto en SHA	Valoración
El equipo o infraestructura está asociado a actividades que generan riesgos extremos a las personas o genera impacto ambiental o energético extremos, de acuerdo a la valoración de las matrices de peligros y riesgos y aspectos e impactos ambientales y energéticos.	8
El equipo o infraestructura está asociado a actividades que generan riesgos altos a las personas o genera impacto ambiental o energético alto, de acuerdo a la valoración de las matrices de peligros y riesgos y aspectos e impactos ambientales y energéticos.	7
El equipo o infraestructura está asociado a actividades que generan riesgos medio a las personas o genera impactos ambientales o energéticos medios, de acuerdo a la valoración de las matrices de peligros y riesgos y aspectos e impactos ambientales y energéticos.	5
El equipo o infraestructura está asociado a actividades que generan riesgos leves a las personas o generan impactos ambientales o energéticos leves, de acuerdo a la valoración de las matrices de peligros y riesgos y aspectos e impactos ambientales y energéticos.	3
No provoca ningún tipo de afectación a las personas y no generan impactos ambientales o energéticos	1

Fuente: El autor

3.2.3 Aplicación de la matriz de criticidad. Para cada equipo que hace parte de la estación compresora de gas Jagua del Pilar referenciado por sistema, se adelantara el presente análisis de criticidad, aplicando la metodología de los factores ponderados y los criterios establecidos para la valoración, según análisis

realizado para definir cada uno, la clasificación se establecerá utilizando la matriz de criticidad mostrada en la figura 26.

Figura 26. Matriz de criticidad aplicada.

MATRIZ DE CRITICIDAD						
FRECUENCIA	4	MC	MC	C	C	C
	3	MC	MC	MC	C	C
	2	NC	NC	MC	C	C
	1	NC	NC	NC	MC	C
		(10-19)	(20-29)	(30-39)	(40-49)	(50-59)
CONSECUENCIA						

Fuente: El autor

Los resultados de la evaluación se representan en las tres (3) zonas que muestran los niveles de criticidad así:

- Color rojo: Críticos (C)
- Color amarillo: Media-criticidad (MC)
- Color verde: No críticos (NC)

3.2.4 Ecuaciones para la jerarquización. Las expresiones utilizadas para jerarquizar los equipos son las identificadas en la metodología referenciada en el ítem 2.2.3 del marco teórico:

$$\text{Criticidad Total (I)} = \text{Frecuencia de Fallas (FF)} \times \text{Consecuencia de Fallas (3)}$$

El valor de la consecuencia se obtiene a partir de la siguiente ecuación.

Consecuencia de Fallas= [[Impacto operacional (IO) x Flexibilidad operacional (FO)] + Costos asociados (CM) + Impacto en seguridad, higiene y ambiente] **(4)**

La expresión final al reemplazar en la ecuación (3) el desglose incluido en la ecuación (4) es la siguiente:

$$\text{Críticidad Total (I)} = FF \times ((IO \times FO) + CM + SHA) \quad (5)$$

3.2.5 Determinación de la criticidad de equipos. Para determinar la criticidad de equipos, se aplicó el juicio de expertos para calificar cada uno de los criterios establecidos en el numeral 3.2.2.

Se adelantaron diferentes reuniones de trabajo, unas en la estación de compresión de gas Jagua del Pilar con el personal técnico de operación, mantenimiento, seguridad y ambiente, cuyo resultado fue complementado y validado con los profesionales de operaciones, confiabilidad, mantenimiento, seguridad y ambiente que tienen base en la ciudad de Bogotá obteniendo un consenso para la valoración final establecida.

Con los valores obtenidos, se determina la jerarquización de los equipos en las tres (3) categorías; Crítico, Semi-Crítico y No Crítico, siendo el nivel crítico el de mayor impacto, por lo cual los equipos en este nivel deberán ser atendidos de manera prioritaria y estructurada.

3.2.6 Cálculo de criticidad. El cálculo de la criticidad se realizó para cada uno de los equipos identificados en cada uno de los sistemas considerados, aplicando los criterios establecidos en las tablas 23 a la 27, la ecuación (5) del numeral 3.2.4. y la matriz de criticidad de la figura 26.

A manera de ejemplo para la aplicación de la metodología y el cálculo de la criticidad considerando la valoración por cada criterio:

FF es 3, ha presentado dos (2) falla al año.

IO es 10, al fallar genera parada de estación.

FO es 4, no existe modo alterno de operación.

CM es 2, el costo de la falla es mayor o igual a 30.000 Dólares.

SHA es 5, el equipo está asociado a actividades que generan riesgo medio a las personas o genera impactos ambientales.

Utilizando la ecuación (4) obtenemos el valor de la consecuencia y junto con la frecuencia de falla, ya tenemos los valores para ingresar a la matriz de criticidad figura 26 y poder ubicar respectivamente estos valores que para nuestro ejemplo, el valor de frecuencia es 3 y el valor de la consecuencia obtenido de la ecuación (4) es 47, utilizando la matriz de criticidad, se encuentra que el resultado de la criticidad es valorado crítico (C), como se muestra en la tabla 28.

$$\text{Consecuencia de la falla} = ((IO \times FO) + CM + SHA) \quad (4)$$

Reemplazando los valores obtenidos tenemos que

$$\text{Consecuencia de la falla} = [10 \times 4] + 2 + 5 \quad (4)$$

$$\text{Consecuencia de la falla} = 47$$

Tabla 28. Ejemplo de cálculo de la criticidad.

INTERCONEXION GASODUCTO-SLUG CATCHER			Calculo de criticidad						
Item	Descripcion	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto SHA	Consecuencia	Criticidad
1	Valvula de Shut Down 18"	SDV-101	3	10	4	2	5	47	C

Fuente: El autor

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de interconexión Gasoducto-Slug Cácher identificando que se existen siete (7) equipos críticos (C), dos (2) medianamente críticos (MC) y dos (2) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29. Jerarquización equipos del sistema de interconexión Gasoducto-Slug Cácher.

INTERCONEXION GASODUCTO-SLUG CATCHER			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de Shut Down 18"	SDV-101	3	47	C
2	Válvula de bola de 2"	BA-110	2	16	NC
3	Tubería Slug Cácher	SC-001	2	47	C
4	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-102	3	12	MC
5	Transmisor indicador de temperatura (89-140 °F)	TIT-103	3	12	MC
6	Válvula ON/OFF 18"	XV-104	1	15	NC
7	Válvula de control de presión 12"	PV-104A	2	47	C
8	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-459	3	46	C
9	Válvula de control de nivel 1"	LV-502	3	46	C
10	Válvula de bola 18"	BA-125	2	47	C
11	Válvula de Shut Down 18"	SDV-239	3	47	C

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de separación-filtración de succión identificando que existen dos (2) equipos críticos (C), diez (10) medianamente críticos (MC) y siete (7) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Jerarquización equipos sistema de separación-filtración de succión.

SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE SUCCION			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de bola 18"	BA-104-105	2	11	NC
2	Válvula de bola 2"	BA-117-118	3	10	MC
3	Válvula de globo 18"	GL-167-168	3	15	MC
4	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-450-451	4	20	MC
5	Vasija y tuberías	FS-001-002	2	13	NC
6	Transmisor indicador de presión diferencial (0-10 psig)	PDIT-108-109	3	12	MC
7	Transmisor indicador de presión	PIT-114-115	3	12	MC
8	Calibrador de nivel	LG-118-119	2	12	NC
9	Switch de muy alto nivel	LSHH-116-117	2	16	NC
10	Calibrador de nivel	LG-128-129	2	12	NC
11	Switch de muy alto nivel	LSHH-124-125	2	16	NC
12	Válvula de control de nivel 1"	LV-110-111	3	16	MC
13	Válvula de control de nivel 1"	LV-112-113	3	16	MC
14	Medidor ultrasónico 18"	FE-132	3	13	MC
15	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-133	3	12	MC
16	Transmisor indicador de temperatura (89-140 °F)	TIT-134	3	12	MC
17	Válvula de bola 18"	BA-106	2	11	NC
18	Válvula de Blow Down 3"	BDV-402	3	48	C
19	Válvula de bola 2"	BA-120	2	46	C

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de sistema de compresión identificando que se tienen un (1) equipos críticos (C), siete (7) medianamente críticos (MC) y cuatro (4) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Jerarquización equipos sistema de compresión.

SISTEMA DE COMPRESION			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula ON/OFF 12" presurización del compresor	XV-137-138-139-140	2	35	MC
2	Válvula ON/OFF 2" presurización del compresor	XV-151-152-153-154	3	34	MC
3	Válvula de bola 2"	BA-121-122-123-124	2	14	NC
4	Válvula de control de presión 2"	PV-152-153-154	3	14	MC
5	Unidad compresora	C-001-002-003-004	4	34	C
6	Tuberías asociadas		2	13	NC
7	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-141-142-143-144	3	12	MC
8	Transmisor indicador de presión (1050-1200 psig)	PIT-200-201-202	3	12	MC
9	Transmisor indicador de temperatura	TIT-204-205-206-207	3	12	MC
10	Válvula de bola 10"	BA-200-201-202-203	2	21	NC
11	Válvula de bola 12"	BA-454-455-456-457	2	21	NC
12	Válvula de seguridad (1000 psig)	PSV-460-461-462-463	4	20	MC

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de sistema de Separación-Filtración de Descarga identificando que se tienen dos (2) equipos críticos (C), catorce (14) medianamente críticos (MC) y dos (2) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 32.

Tabla 32. Jerarquización equipos Sistema de Separación-Filtración de Descarga.

SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE DESCARGA			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de bola 18"	BA-204-205	2	11	NC
2	Válvula de bola 2"	BA-255-256	3	10	MC
3	Válvula de globo 2"	GL-270-271	3	12	MC
4	Vasija y tuberías	FD-001-002	2	16	NC
5	Válvula de control de nivel	LV-208-209	3	12	MC
6	Válvula de control de nivel	LV-210-211	3	12	MC
7	Calibrador de nivel	LG-215-216	3	12	MC
8	Switch de muy alto nivel	LSHH-221-222	3	11	MC
9	Calibrador de nivel	LG-217-218	3	12	MC
10	Switch de muy alto nivel	LSHH-225-226	3	11	MC
11	Indicador Transmisor de presión diferencial (0-10 psig)	PDIT-213-214	3	12	MC
12	Transmisor indicador de presión	PIT-231-232	3	12	MC
13	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-452-453	4	11	MC
14	Válvula de control 3"	PV-104B	3	22	MC
15	Válvula de bola 3"	GL-272	2	46	C
16	Válvula de bola 18"	BA-206-207	3	14	MC
17	Válvula de Blow Down 3"	BDV-400	3	48	C
18	Válvula de bola 3"	BA-251	1	46	MC

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de sistema de gas combustible identificando que se tienen siete (7) equipos críticos (C), seis (6) medianamente críticos (MC) y uno (1) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 33.

Tabla 33. Jerarquización equipos sistema de gas combustible.

SISTEMA DE GAS DE COMBUSTIBLE			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de Shut Down 3"	SDV-300	3	44	C
2	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-301-302	4	14	MC
3	Válvula de bola 3"	GL-165	2	44	C
4	Tuberías asociadas		1	49	C
5	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-303-304	4	14	MC
6	Válvula de bola 1"	GL-277	2	44	C
7	Caudalímetro de coriolis	FE-306	4	12	MC
8	Transmisor de caudal másico	FIT-306	3	12	MC
9	Transmisor indicador de presión	PIT-307	3	12	MC
10	Sensor de temperatura	TE-308	2	12	NC
11	Transmisor indicador de temperatura	TIT-308	3	12	MC
12	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-454	4	46	C
13	Válvula de Blow Down 2"	BDV-404	3	46	C
14	Válvula de bola 2"	BA-302	2	46	C

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de sistema de gas de arranque identificando que se tienen siete (7) equipos críticos (C), tres (3) medianamente críticos (MC), como se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Jerarquización equipos sistema gas de arranque.

SISTEMA DE GAS DE ARRANQUE			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de bola 3"	BA-108	2	44	C
2	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-351-352	4	14	MC
3	Válvula de globo 1"	GL-178-276	2	44	C
4	Vasija y tuberías	VA-001	1	49	C
5	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-455	4	44	C
6	Válvula de Shut Down 3"	SDV-350	3	44	C
7	Transmisor indicador de presión	PIT-356	3	12	MC
8	Transmisor indicador de temperatura	TIT-357	3	12	MC
9	Válvula Blow Down 2"	BDV-405	3	44	C
10	Válvula de bola 2"	BA-356	2	44	C

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de sistema de gas piloto (Tea), gas purga y tea identificando que se tienen cuatro (4) equipos críticos (C), tres (3) medianamente críticos (MC), como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Jerarquización equipos sistema de gas piloto (Tea), gas purga y tea.

GAS PILOTO (TEA), GAS PURGA Y TEA			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula autoreguladora de presión 1" (10 psig) Gas Piloto	PCV-486	4	28	MC

2	Válvula de globo 1"	GL-490	2	46	C
3	Tuberías asociadas		1	49	C
4	Tea	FL-001	3	49	C
5	Transmisor indicador de presión	PIT-487	3	12	MC
6	Válvula autoreguladora de presión 1" (10 psig) Gas Purga	PCV-489	4	14	MC
7	Válvula de globo 1"	GL-491	2	44	C

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema Knock Out Drum identificando que se tienen dos (2) equipos críticos (C), dos (2) medianamente críticos (MC) y dos (2) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 36.

Tabla 36. Jerarquización equipos del sistema Knock Out Drum.

KNOCK OUT DRUM			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Calibrador de nivel	LG-415	4	46	C
2	Switch de muy alto nivel	LSHH-418	3	34	MC
3	Bomba de condensados 1-2	P-005/006	3	11	MC
4	Válvula de Bola 3"	BA-513/514	2	22	NC
5	Strainer	F-400/401	2	10	NC
6	Vasija y tuberías	V-001	1	49	C

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema acumulador de condensados identificando que se tienen dos (2) equipos críticos (C), tres (3) medianamente críticos (MC) y uno (1) no críticos (NC), como se muestra en la tabla 37.

Tabla 37. Jerarquización equipos sistema acumulador de condensados.

ACUMULADOR DE CONDENSADOS			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de presión y vacío (0,11,-0,03 psig)	PSVE-456	3	36	MC
2	Válvula de seguridad (100 psig)	PSV-464	3	46	C
3	Vasija y tuberías	V-003	2	37	MC
4	Visor de nivel	LG-508	4	46	C
5	Transmisor indicador de nivel magnético	LIT-509	3	34	MC
6	Strainer	F-501	2	13	NC

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de aire industrial identificando que se tienen uno (1) equipos críticos (C), cinco (5) medianamente críticos (MC), como se muestra en la tabla 38.

Tabla 38. Jerarquización equipos sistema de aire industrial.

AIRE INDUSTRIAL			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-458	3	32	MC
2	Vasija y tuberías	V-005	2	33	MC
3	Transmisor indicador de presión	PIT-674	3	12	MC
4	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-670	3	32	MC
5	Válvula de globo 1"	GL-694	2	44	C
6	Transmisor indicador de presión	PIT-679	3	12	MC

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema de aire de instrumentos identificando que se tienen dos (2) equipos críticos (C), tres (3) medianamente críticos (MC), como se muestra en la tabla 39.

Tabla 39. Jerarquización equipos sistema aire de instrumentos.

AIRE DE INSTRUMENTOS			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-457	4	32	C
2	Vasija y tuberías	V-004	2	45	C
3	Transmisor indicador de presión	PIT-609	3	12	MC
4	Válvula autoreguladora de presión 1" (85 psig)	PCV-612/613	3	11	MC
5	Transmisor indicador de presión	PIT-614	3	12	MC

Fuente: El autor.

El cálculo de la criticidad permitió la jerarquización de los equipos del sistema eléctrico principal y de emergencia identificando que se tienen tres (3) equipos críticos (C), uno (1) medianamente críticos (MC) y uno (1) no crítico (NC), como se muestra en la tabla 40.

Tabla 40. Jerarquización equipos sistema eléctrico principal y de emergencia.

SISTEMA ELECTRICO PRINCIPAL Y DE EMERGENCIA			Calculo de criticidad		
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Consecuencia	Criticidad
1	Transformador 150 kVA	TRF-001	2	15	NC
2	Grupo generador de emergencia 150 KV	GE-001	4	45	C
3	Tablero de seccionamiento general (600A)	TSG-01	3	44	C
4	Tablero de transferencia automática (600A)	TTA-01	3	44	C
5	UPS 10kVA	UPS-01	3	36	MC

Fuente: El autor.

3.3 LISTA JERARQUIZADA DE EQUIPOS

En el anexo B se muestra el cálculo realizado para determinar la criticidad de cada uno de los equipos como resultado de la metodología utilizada para el análisis de criticidad aplicado, según el cual fue posible determinar que existen cuarenta (40) equipos críticos de un total de ciento diez y nueve (119) equipos que fueron incluidos en el listado de equipos a analizar, estos equipos que fueron identificados como críticos en caso de presentar falla afectarían el transporte de gas desde la estación de compresión Jagua del Pilar, los resultados mencionados se muestran en la tabla 41.

Tabla 41. Listado de equipos críticos.

INTERCONEXION GASODUCTO-SLUG CATCHER				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
1	Válvula de Shutdown 18"	SDV-101	SDV Entrada de la estación, automática accionada neumáticamente	C
3	Tubería Slug Cácher	SC-001	Transporte hermético de gas	C
7	Válvula de control de presión 12"	PV-104A	Se acciona durante arranque de estación	C
8	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-459	Protección contra sobre presión	C
9	Válvula de control de nivel 1"	LV-502	Accionamiento neumático descarga de condensado	C
10	Válvula de bola 18"	BA-125	By Pass estación, manual	C
11	Válvula de Shutdown 18"	SDV-239	SDV Salida de la estación	C
SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE SUCCION				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
18	Válvula de Blowdown 3"	BDV-402	BDV Succión de Compresores	C
19	Válvula de bola 2"	BA-120	By pass válvula Blowdown	C
SISTEMA DE COMPRESION				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
5	Unidad compresora	C-001-002-003-004	Compresión de gas	C
SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE DESCARGA				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
15	Válvula de bola 3"	GL-272	Válvula de globo, by pass válvula de control	C
17	Válvula de Blowdown 3"	BDV-400	BDV Descarga de Compresores	C

SISTEMA DE GAS DE COMBUSTIBLE				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
1	Válvula de Shutdown 3"	SDV-300	SDV Combustible y Gas de arranque desde la succión	C
3	Válvula de bola 3"	GL-165	Válvula de globo, by pass válvula autoreguladora	C
4	Tuberías asociadas		Confinar el gas	C
6	Válvula de bola 1"	GL-277	Válvula de globo, by pass válvula autoreguladora	C
12	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-454	Protección contra sobre presión	C
13	Válvula de Blowdown 2"	BDV-404	BDV Gas de Combustible	C
14	Válvula de bola 2"	BA-302	By pass válvula Blowdown	C
SISTEMA DE GAS DE ARRANQUE				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
1	Válvula de bola 3"	BA-108	Separa flujo líneas de succión y descarga	C
3	Válvula de globo 1"	GL-178-276	By pass válvula reguladora	C
4	Vasija y tuberías	VA-001	Acumulación de gas y hermeticidad	C
5	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-455	Protección contra sobre presión vasija	C
6	Válvula de Shutdown 3"	SDV-350	SDV Combustible y Gas de arranque desde la descarga	C
9	Válvula Blowdown 2"	BDV-405	BDV Gas de Arranque	C
10	Válvula de bola 2"	BA-356	By pass válvula reguladora	C
GAS PILOTO (TEA), GAS PURGA Y TEA				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
2	Válvula de globo 1"	GL-490	By pass válvula reguladora	C
3	Tuberías asociadas		Confinar el gas	C
4	Tea	FL-001	Quemar gas	C
7	Válvula de globo 1"	GL-491	By pass válvula reguladora	C
KNOCK OUT DRUM				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
1	Calibrador de nivel	LG-415	Monitorear nivel de condensados	C
6	Vasija y tuberías	V-001	Hermeticidad transporte de gas	C
ACUMULADOR DE CONDENSADOS				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
2	Válvula de seguridad (100 psig)	PSV-464	Protección contra sobre presión	C
4	Visor de nivel	LG-508	Indicador de nivel de condensados	C
AIRE DE INSTRUMENTOS				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-457	Protección contra sobre presión	C
2	Vasija y tuberías	V-004	Acumulación de aire y hermeticidad	C

AIRE INDUSTRIAL				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Función	
5	Válvula de globo 1"	GL-694	By pass válvula autoreguladora	C
SISTEMA ELECTRICO PRINCIPAL Y DE EMERGENCIA				Criticidad
Ítem	Descripción	Tag	Funcion	
2	Grupo generador de emergencia 150 KV	GE-001	208/120 V	C
3	Tablero de seccionamiento general (600A)	TSG-01	208/120 V	C
4	Tablero de transferencia automática (600A)	TTA-01	208/120 V	C

Fuente: El autor.

Del total de 119 equipos evaluados de la estación de compresión Jagua del Pilar 40 equipos son críticos correspondiendo al 33%.

Entre los equipos evaluados tenemos que los de mayor relevancia por su cantidad, corresponden a las válvulas de proceso del sistema de detección de fuego y gas (Fire & Gas), las válvulas de seguridad (PSV) asociadas al Slug Cácher, gas combustible, gas arranque, acumulador de condensados y aire de instrumentos, otros muy importantes son los equipos tales como la tea, las unidades de compresión y el grupo electrógeno de emergencia que tiene asociado los tableros de seccionamiento y transferencia.

4. CONCLUSIONES

- Con el modelo de criticidad desarrollado se pudo identificar que existen cuarenta (40) equipos que requieren más atención por parte de la empresa para garantizar el normal funcionamiento de la estación compresora de gas Jagua del Pilar, asegurando el cumplimiento de los requerimientos de transporte de gas contratado.
- Se determinaron los equipos críticos por cada uno de los sistemas evaluados tales como el sistema de interconexión gasoducto-Slug cártcher con siete (7) equipos críticos (C), sistema de separación - filtración de succión con dos (2) equipos críticos (C), sistema de compresión con un (1) equipo crítico (C), sistema de separación - filtración de descarga con dos (2) equipos críticos (C), sistema de gas de combustible con siete (7) equipos críticos (C), sistema de gas de arranque con siete (7) equipos críticos (C), sistema de gas piloto (tea), gas purga y tea con cuatro (4) equipos críticos (C), sistema del Knock Out Drum con dos (2) equipos críticos (C), sistema del acumulador de condensados con dos (2) equipos críticos (C), sistema de aire de instrumentos con dos (2) equipos críticos (C), sistema de aire industrial con un (1) equipo crítico (C) y sistema eléctrico principal y de emergencia con tres (3) equipos críticos (C).
- El análisis de criticidad modelado a partir de la metodología de criticidad de factores ponderados permite facilitar la toma de decisiones y el direccionamiento de los recursos a los equipos que generan mayor impacto en la función operativa de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar.
- La metodología para el análisis de criticidad desarrollado a partir del método de criticidad de factores ponderados permitió establecer la jerarquización de los equipos de una estación de compresión de gas.
- Los resultados obtenidos con este análisis permitieron conocer que del total de los 119 equipos evaluados de la estación de compresión de gas Jagua del Pilar hay 20 equipos que son no críticos (NC) correspondiendo a un

17%, hay 59 equipos que son medianamente – críticos (MC) correspondiendo a un 50% y hay 40 equipos que son críticos (C) los cuales representan el 33%.

- Se identificó que dentro de los equipos críticos (C) hay una cantidad significativa de válvulas de proceso y válvulas de seguridad (PSV) lo que permite considerar que se debe tener en existencia dentro del inventario por lo menos una de cada una de estas.

5. RECOMENDACIONES

- Para los componentes críticos tales como válvulas se recomienda disponer en bodega por lo menos de una válvula de cada referencia con iguales características de la existente y en caso de presentar falla, minimizar el tiempo de atención de la misma y por ende disminuir el efecto por tiempo de parada.
- Incluir en las rutinas de mantenimiento preventivo los equipos identificados como críticos junto con sus accesorios y componentes anexos generando actividades que incluyan pruebas operativas tales como: simulación de señales y disparo remoto que garanticen su funcionalidad, determinar y disponer de los repuestos según recomendación del fabricante y las rutinas de mantenimiento a realizar.
- Profundizar a través de la estrategia de mantenimiento en los ítems reparables de cada uno de los equipos identificados como críticos (C).
- Replicar la aplicación de la metodología identificada para jerarquizar los equipos en las demás estaciones de compresión propiedad de la Transportadora de Gas Internacional TGI S.A. ESP.
- Divulgar y adiestrar a todo el personal involucrado en el uso y aplicación de esta metodología con el fin de mantener actualizada la valoración de criticidad de cada equipo.

BIBLIOGRAFÍA

Becerra G., Sistema Integrado de Confiabilidad Operacional para el área de servicios industriales de Bavaria 2005.

Carralero K., Zaragoza B., Acosta R., Corrales D. Presentado En 11th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology, Cancún, México, August 14-16, 2013.

Castillo A., Brito M., Fraga E., Análisis de criticidad personalizados. En Ingeniería Mecánica. Vol. 12. No.3, septiembre-diciembre de 2009, pág. 1-12.

Díaz A., Pérez F., Castillo A., Brito M. Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. Propuesta de un modelo para el análisis de criticidad en plantas de productos biológicos. En Ingeniería Mecánica. Vol. 15. No. 1, enero-abril, 2012, p. 34-43.

González, J.M (P); Amendola, L; Depool, T Modelo de criticidad operacional en generadores de parques eólicos. En 12th International Conference on Project Engineering.

Huertas, Rosendo. "Análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional" Mantenimiento Industrial, Octubre 2011.

Martínez J., Rivas A., Matthews R., Análisis de criticidad de plataformas activo integral Cantarell– Pemex exploración y producción. En Asociación Argentina de Materiales. Mayo 2011 Volumen 8 N° 1.

ANEXOS

Anexo A. Planos operativos de la estación Jagua del Pilar

Plano No.1 Slug Cátcher y Gas Piloto Tea.

Plano No. 2 Sistema de Filtración de Succión.

Plano No. 3 Sistema de Compresión.

Plano No. 4 Sistema de Filtración de Descarga.

Plano No. 5 Sistema de Gas Combustible y de Arranque.

Plano No. 6 Knock Out Drum, gas piloto (Tomado de la descarga), gas purga y tea.

Plano No. 7 Sistema Acumulador de Condensados.

Plano No. 8 Sistema de Aire Instrumentos e Industrial.

Anexo B. Tablas de cálculo de criticidad

Tabla No. 1 cálculo de criticidad para sistema interconexión gasoducto-Slug cácher.

INTERCONEXION GASODUCTO-SLUG CATCHER			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto SHA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de Shut Down 18"	SDV-101	3	10	4	2	5	47	C
2	Válvula de bola de 2"	BA-110	2	10	1	1	5	16	NC
3	Tubería Slug Cácher	SC-001	2	10	4	2	5	47	C
4	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-102	3	4	2	1	3	12	MC
5	Transmisor indicador de temperatura (89-140 °F)	TIT-103	3	4	2	1	3	12	MC
6	Válvula ON/OFF 18"	XV-104	1	4	2	2	5	15	NC
7	Válvula de control de presión 12"	PV-104A	2	10	4	2	5	47	C
8	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-459	3	10	4	1	5	46	C
9	Válvula de control de nivel 1"	LV-502	3	10	4	1	5	46	C
10	Válvula de bola 18"	BA-125	2	10	4	2	5	47	C
11	Válvula de Shut Down 18"	SDV-239	3	10	4	2	5	47	C

Tabla No. 2 cálculo de criticidad para el sistema de separación - filtración de succión.

SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE SUCCION			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de bola 18"	BA-104-105	2	4	1	2	5	11	NC
2	Válvula de bola 2"	BA-117-118	3	4	1	1	5	10	MC

3	Válvula de globo 18"	GL-167-168	3	4	2	2	5	15	MC
4	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-450-451	4	7	2	1	5	20	MC
5	Vasija y tuberías	FS-001-002	2	4	1	2	7	13	NC
6	Transmisor indicador de presión diferencial (0-10 psig)	PDIT-108-109	3	4	2	1	3	12	MC
7	Transmisor indicador de presión	PIT-114-115	3	4	2	1	3	12	MC
8	Calibrador de nivel	LG-118-119	2	4	2	1	3	12	NC
9	Switch de muy alto nivel	LSHH-116-117	2	10	1	1	5	16	NC
10	Calibrador de nivel	LG-128-129	2	4	2	1	3	12	NC
11	Switch de muy alto nivel	LSHH-124-125	2	10	1	1	5	16	NC
12	Válvula de control de nivel 1"	LV-110-111	3	4	2	1	7	16	MC
13	Válvula de control de nivel 1"	LV-112-113	3	4	2	1	7	16	MC
14	Medidor ultrasónico 18"	FE-132	3	4	2	2	3	13	MC
15	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-133	3	4	2	1	3	12	MC
16	Transmisor indicador de temperatura (89-140 °F)	TIT-134	3	4	2	1	3	12	MC
17	Válvula de bola 18"	BA-106	2	4	1	2	5	11	NC
18	Válvula de Blow Down 3"	BDV-402	3	10	4	1	7	48	C
19	Válvula de bola 2"	BA-120	2	10	4	1	5	46	C

Tabla No. 3 cálculo de criticidad para el sistema de separación - filtración de succión.

SISTEMA DE COMPRESION			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula ON/OFF 12" presurización del compresor	XV-137-138-139-140	2	7	4	2	5	35	MC
2	Válvula ON/OFF 2" presurización del compresor	XV-151-152-153-154	3	7	4	1	5	34	MC
3	Válvula de bola 2"	BA-121-122-123-124	2	4	2	1	5	14	NC
4	Válvula de control de presión 2"	PV-152-153-154	3	4	2	1	5	14	MC
5	Unidad compresora	C-001-002-003-004	4	7	4	1	5	34	C
6	Tuberías asociadas		2	4	1	2	7	13	NC
7	Transmisor indicador de presión (550-850 psig)	PIT-141-142-143-144	3	4	2	1	3	12	MC
8	Transmisor indicador de presión (1050-1200 psig)	PIT-200-201-202	3	4	2	1	3	12	MC
9	Transmisor indicador de temperatura	TIT-204-205-206-207	3	4	2	1	3	12	MC
10	Válvula de bola 10"	BA-200-201-202-203	2	7	2	2	5	21	NC
11	Válvula de bola 12"	BA-454-455-456-457	2	7	2	2	5	21	NC
12	Válvula de seguridad (1000 psig)	PSV-460-461-462-463	4	7	2	1	5	20	MC

Tabla No. 4 cálculo de criticidad para el sistema de separación - filtración de descarga.

SISTEMA DE SEPARACION-FILTRACION DE DESCARGA			Calculo de criticidad						
Item	Descripcion	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Valvula de bola 18"	BA-204-205	2	4	1	2	5	11	NC
2	Valvula de bola 2"	BA-255-256	3	4	1	1	5	10	MC
3	Valvula de globo 2"	GL-270-271	3	4	2	1	3	12	MC
4	Vasija y tuberias	FD-001-002	2	7	1	2	7	16	NC
5	Valvula de control de nivel	LV-208-209	3	4	2	1	3	12	MC
6	Valvula de control de nivel	LV-210-211	3	4	2	1	3	12	MC
7	Calibrador de nivel	LG-215-216	3	4	2	1	3	12	MC
8	Switch de muy alto nivel	LSHH-221-222	3	7	1	1	3	11	MC
9	Calibrador de nivel	LG-217-218	3	4	2	1	3	12	MC
10	Switch de muy alto nivel	LSHH-225-226	3	7	1	1	3	11	MC
11	Indicador Transmisor de presión diferencial (0-10 psig)	PDIT-213-214	3	4	2	1	3	12	MC
12	Transmisor indicador de presión	PIT-231-232	3	4	2	1	3	12	MC
13	Válvula de seguridad (1320 psig)	PSV-452-453	4	7	1	1	3	11	MC
14	Válvula de control 3"	PV-104B	3	4	4	1	5	22	MC
15	Válvula de bola 3"	GL-272	2	10	4	1	5	46	C
16	Válvula de bola 18"	BA-206-207	3	7	1	2	5	14	MC
17	Válvula de Blow Down 3"	BDV-400	3	10	4	1	7	48	C
18	Válvula de bola 3"	BA-251	1	10	4	1	5	46	MC

Tabla No. 5 cálculo de criticidad para el sistema de gas combustible.

SISTEMA DE GAS DE COMBUSTIBLE			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de Shut Down 3"	SDV-300	3	10	4	1	3	44	C
2	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-301-302	4	4	2	1	5	14	MC
3	Válvula de bola 3"	GL-165	2	10	4	1	3	44	C
4	Tuberías asociadas		1	10	4	2	7	49	C
5	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-303-304	4	4	2	1	5	14	MC
6	Válvula de bola 1"	GL-277	2	10	4	1	3	44	C
7	Caudalímetro de coriolis	FE-306	4	4	2	1	3	12	MC
8	Transmisor de caudal másico	FIT-306	3	4	2	1	3	12	MC
9	Transmisor indicador de presión	PIT-307	3	4	2	1	3	12	MC
10	Sensor de temperatura	TE-308	2	4	2	1	3	12	NC
11	Transmisor indicador de temperatura	TIT-308	3	4	2	1	3	12	MC
12	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-454	4	10	4	1	5	46	C
13	Válvula de Blow Down 2"	BDV-404	3	10	4	1	5	46	C
14	Válvula de bola 2"	BA-302	2	10	4	1	5	46	C

Tabla No. 6 cálculo de criticidad sistema de gas arranque.

SISTEMA DE GAS DE ARRANQUE			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de bola 3"	BA-108	2	10	4	1	3	44	C
2	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-351-352	4	4	2	1	5	14	MC
3	Válvula de globo 1"	GL-178-276	2	10	4	1	3	44	C
4	Vasija y tuberías	VA-001	1	10	4	2	7	49	C
5	Válvula de seguridad (175 psig)	PSV-455	4	10	4	1	3	44	C
6	Válvula de Shut Down 3"	SDV-350	3	10	4	1	3	44	C
7	Transmisor indicador de presión	PIT-356	3	4	2	1	3	12	MC
8	Transmisor indicador de temperatura	TIT-357	3	4	2	1	3	12	MC
9	Válvula Blow Down 2"	BDV-405	3	10	4	1	3	44	C
10	Valvula de bola 2"	BA-356	2	10	4	1	3	44	C

Tabla No. 7 cálculo de criticidad gas piloto (Tea), gas purga y tea

GAS PILOTO (TEA), GAS PURGA Y TEA			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula autoreguladora de presión 1" (10 psig) Gas Piloto	PCV-486	4	10	2	1	7	28	MC
2	Válvula de globo 1"	GL-490	2	10	4	1	5	46	C
3	Tuberías asociadas		1	10	4	2	7	49	C
4	Tea	FL-001	3	10	4	2	7	49	C
5	Transmisor indicador de presión	PIT-487	3	4	2	1	3	12	MC

6	Válvula autoreguladora de presión 1" (10 psig) Gas Purga	PCV-489	4	4	2	1	5	14	MC
7	Válvula de globo 1"	GL-491	2	10	4	1	3	44	C

Tabla No. 8 cálculo de criticidad sistema Knock Out Drum.

KNOCK OUT DRUM			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Calibrador de nivel	LG-415	4	10	4	1	5	46	C
2	Switch de muy alto nivel	LSHH-418	3	7	4	1	5	34	MC
3	Bomba de condensados 1-2	P-005/006	3	7	1	1	3	11	MC
4	Válvula de Bola 3"	BA-513/514	2	4	4	1	5	22	NC
5	Strainer	F-400/401	2	4	1	1	5	10	NC
6	Vasija y tuberías	V-001	1	10	4	2	7	49	C

Tabla No. 9 cálculo de criticidad sistema acumulador de condensados.

ACUMULADOR DE CONDENSADOS			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de presión y vacío (0,11,-0,03 psig)	PSVE-456	3	7	4	1	7	36	MC

2	Válvula de seguridad (100 psig)	PSV-464	3	10	4	1	5	46	C
3	Vasija y tuberías	V-003	2	7	4	2	7	37	MC
4	Visor de nivel	LG-508	4	10	4	1	5	46	C
5	Transmisor indicador de nivel magnético	LIT-509	3	7	4	1	5	34	MC
6	Strainer	F-501	2	7	1	1	5	13	NC

Tabla No. 10 cálculo de criticidad sistema aire de instrumentos.

AIRE DE INSTRUMENTOS			Calculo de criticidad						
Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-457	4	7	4	1	3	32	C
2	Vasija y tuberías	V-004	2	10	4	2	3	45	C
3	Transmisor indicador de presión	PIT-609	3	4	2	1	3	12	MC
4	Válvula autoreguladora de presión 1" (85 psig)	PCV-612/613	3	7	1	1	3	11	MC
5	Transmisor indicador de presión	PIT-614	3	4	2	1	3	12	MC

Tabla No. 11 cálculo de criticidad sistema de aire industrial.

AIRE INDUSTRIAL	Calculo de criticidad
-----------------	-----------------------

Ítem	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Válvula de seguridad (145 psig)	PSV-458	3	7	4	1	3	32	MC
2	Vasija y tuberías	V-005	2	7	4	2	3	33	MC
3	Transmisor indicador de presión	PIT-674	3	4	2	1	3	12	MC
4	Válvula autoreguladora de presión 1"	PCV-670	3	7	4	1	3	32	MC
5	Válvula de globo 1"	GL-694	2	10	4	1	3	44	C
6	Transmisor indicador de presión	PIT-679	3	4	2	1	3	12	MC

Tabla No. 12 cálculo de criticidad sistema eléctrico principal y de emergencia.

SISTEMA ELECTRICO PRINCIPAL Y DE EMERGENCIA			Calculo de criticidad						
Item	Descripción	Tag	Frecuencia de falla	Impacto Operacional	Flexibilidad operacional	Costos generados	Impacto HSA	Consecuencia	Criticidad
1	Transformador 150 kVA	TRF-001	2	10	1	2	3	15	NC
2	Grupo generador de emergencia 150 KV	GE-001	4	10	4	2	3	45	C
3	Tablero de seccionamiento general (600A)	TSG-01	3	10	4	1	3	44	C
4	Tablero de transferencia automática (600A)	TTA-01	3	10	4	1	3	44	C
5	UPS 10kVA	UPS-01	3	7	4	1	7	36	MC