

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ESTACIONES DE
COMPRESIÓN DE GAS –
MIRAFLORES, PUENTE GUILLERMO Y PARATEBUENO, PROPIEDAD DE TGI
UBICADAS EN LOS
DEPARTAMENTOS DE BOYACÁ, SANTANDER Y CUNDINAMARCA
ENFOCADO EN LOS REPUESTOS CRÍTICOS.

JONATHAN VERA CARBALLIDO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECAICAS
ESCUELA DE MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO.
BUCARAMANGA
AÑO 2022

PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ESTACIONES DE
COMPRESIÓN DE GAS –
MIRAFLORES, PUENTE GUILLERMO Y PARATEBUENO, PROPIEDAD DE TGI
UBICADAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE BOYACÁ, SANTANDER Y
CUNDINAMARCA ENFOCADO EN LOS REPUESTOS CRÍTICOS.

JONATHAN VERA CARBALLIDO

Trabajo de grado para optar título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento

Director:

RICARDO MANUEL MARTINEZ PEREZ
MAGISTER EN INGENIERÍA METALÚRGICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE FISICOMECHANICAS
ESCUELA DE MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO.
BUCARAMANGA
AÑO 2022

CONTENIDO

pág.

INTRODUCCIÓN	9
1. OBJETIVOS	12
1.1. OBJETIVO GENERAL	12
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
2. CUERPO DEL TRABAJO	13
2.2. MARCO DE ANTECEDENTES.....	20
2.3. MARCO REFERENCIAL.....	23
2.4. MÉTODO.....	29
2.5. MÉTODO PR-C&V: PRIORIZACIÓN DE REPUESTOS POR CRITICIDAD Y VALOR ECONÓMICO.....	32
2.6. ORDEN DE JERARQUÍA.....	34
2.7. RESULTADOS.....	34
2.8. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	40
CONCLUSIONES	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49

LISTA DE FIGURAS

Pag

Figura 1. Elementos de la propuesta de valor TGI. Tomado de: TGI - Transportadora de Gas Internacional. Disponible en: tgi.com.co.....	15
Figura 2. Pilares estrategia TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI.	16
Figura 3. Mapa estratégico TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI.	17
Figura 4. Organigrama TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI. T.....	18
Figura 5. Infraestructura TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI.....	19
Figura 6 Objetivos del mantenimiento.....	25
Figura 7. Modelo Básico de Criticidad.	28
Figura 8. Gráfico de resultados de un análisis de criticidad.....	29
Figura 9. Metodología Plan de Mantenimiento Preventivo.....	30
Figura 10. Jerarquía definida por el valor de los materiales	33
Figura 11. Jerarquía definida por la criticidad de los materiales	33
Figura 12. Histórico de fallas estaciones Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno.	34
Figura 13. Stock de Seguridad para la Estación de Paratebueno.....	38
Figura 14. Stock de Seguridad para las Estaciones de Puente Guillermo y Miraflores.	39
Figura 15. Formato Plan de Mantenimiento para la Estación de Paratebueno.	42
Figura 16. Formato Plan de Mantenimiento para las Estaciones de Puente Guillermo y Miraflores.	43
Figura 17. Flujograma Plan de Mantenimiento.	45
Figura 18. Modelo de indicadores.....	46

LISTA DE FIGURAS

Pag

Tabla 1. Tipo de mantenimiento. Fuente: González, Carlos Ramon. Ingeniería de mantenimiento. Cap. III. UIS Bucaramanga.....	25
Tabla 2. Definición de las categorías de materiales según su valor.	31
Tabla 3. Definición de las categorías de materiales según su criticidad.	32
Tabla 4. Códigos posibles para ítem en inventario.	32
Tabla 5. Orden de jerarquía para la optimización de repuestos críticos para las estaciones de Puente Guillermo y Miraflores.....	36
Tabla 6. Orden de jerarquía para la optimización de repuestos críticos para la estación de Paratebueno.	38

LISTA DE ANEXOS

Los anexos se encuentran en una carpeta adjunta.

Anexo 1. Fallas encontradas 2020.

Anexo 2. Resultados finales diagnóstico.

Anexo 3. Plan de mantenimiento para las estaciones de Compresión De Gas –
Miraflores, Puente Guillermo Y Paratebueno.

RESUMEN

TÍTULO: PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ESTACIONES DE COMPRESIÓN DE GAS –MIRAFLORES, PUENTE GUILLERMO Y PARATEBUENO, PROPIEDAD DE TGI UBICADAS EN LOS DEPARTAMENTOS DE BOYACÁ, SANTANDER Y CUNDINAMARCA ENFOCADO EN LOS REPUESTOS CRÍTICOS*.

AUTOR: JONATHAN VERA CARBALLIDO**

PALABRAS CLAVE: MANTENIMIENTO PREVENTIVO, REPUESTOS CRITICOS, STOCK DE SEGURIDAD.

DESCRIPCIÓN: El presente Documento analiza las fallas en las estaciones de compresión de gas de la Transportadora de Gas Internacional, Ubicadas en los Municipios de Paratebueno, Puente Nacional, Miraflores, determinando un stock de repuestos mínimos que permitan aumentar la confiabilidad de cada una de las unidades que conforman las estaciones en mención; basados en los consumos históricos de los repuestos, Además de proponer eficiencias operacionales apoyados en la modificación de los planes de mantenimiento para la inclusión de los repuestos.

*Trabajo de grado

** Facultad de Escuelas Fisicomécanicas. Escuela de Ingeniero Mecánica. Director: Ricardo Manuel Martínez Pérez, Magister en ingeniería metalúrgica.

ABSTRACT

TITLE: PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE GAS COMPRESSION STATIONS - MIRAFLORES, PUENTE GUILLERMO AND PARATEBUENO, PROPERTY OF TGI LOCATED IN THE DEPARTMENTS OF BOYACÁ, SANTANDER AND CUNDINAMARCA FOCUSED ON CRITICAL SPARE PARTS *

AUTHOR: JONATHAN VERA CARBALLIDO*

KEY WORDS: PREVENTIVE MAINTENANCE, CRITICAL SPARE PARTS, SAFETY STOCK.

DESCRIPTION: This Document analyzes the failures in the gas compression stations of Transportadora de Gas Internacional, located in the municipalities of Paratebueno, Puente Nacional, Miraflores, determining a minimum stock of spare parts that will increase the reliability of each of the units that make up the stations in question; based on the historical consumptions of the spare parts, in addition to proposing operational efficiencies supported by the modification of maintenance plans for the inclusion of spare parts.

* Degree work

Faculty of Physicomechanical Schools. School of Mechanical Engineering. Director: Ricardo Manuel Martínez Pérez, Magister in metallurgical Engineering.

INTRODUCCIÓN

La empresa Transportadora de Gas Internacional SA ESP (TGI SA ESP) cuenta con 15 estaciones de compresión de gas natural. Estas estaciones se encuentran clasificadas en estaciones críticas y no críticas. Dentro de las estaciones críticas se encuentran las estaciones de compresión de gas de Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno. Aunque estas estaciones cuentan con sus respectivos planes de mantenimiento, se requieren mejoras enfocadas al mantenimiento preventivo basado en la criticidad de los repuestos. Todo esto con el fin de evitar que las estaciones queden fuera de línea por fallas que se puedan presentar en las unidades.

Las estaciones de compresión de gas de Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno pertenecientes a la infraestructura de TGI SA ESP son esenciales para el transporte de gas de la compañía. Sin embargo, hoy día no cuentan con un stock de repuestos críticos que permita un mantenimiento oportuno de sus equipos de compresión. Por lo anterior, siempre existe el riesgo de paradas de la operación con el correspondiente impacto en la continuidad del transporte de gas.

Así pues, para mitigar este riesgo se propone establecer un plan de mantenimiento basado en repuestos críticos para las unidades de compresión de las estaciones críticas de compresión de gas de Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno.

Para tal fin, inicialmente se realiza una documentación y análisis de las fallas recurrentes en las unidades de compresión para el período de tiempo correspondiente al año 2020. Luego, se elabora de Stock de repuestos críticos para las estaciones de acuerdo a las fallas recurrentes encontradas en la fase anterior. De igual forma, se realiza una revisión de los repuestos considerados más críticos y con esto, se determinan los repuestos más necesarios. En una última fase, se

realiza una clasificación, en función de dos factores; valor financiero de los materiales y una técnica de análisis de criticidad de acuerdo al stock de repuestos críticos. Finalmente, se desarrolla el plan de mantenimiento preventivo enfocado en los repuestos críticos para las estaciones de compresión de gas Miraflores, Puente Guillermo y Paratebuena propiedad de TGI.

Algunos trabajos previos han aplicado una metodología similar como es el caso de Perú, donde el autor Cuadro¹ en su proyecto de investigación titulado "Diseño de la Estación de Descompresión de Gas Natural de Camisea (City Gate)", buscaba mostrar los procedimientos de cálculo y los requisitos mínimos requeridos para el diseño de la estación de acondicionamiento de gas. De manera similar, el método utilizado incluye una fase de análisis en la que se definen y se ordenan las variables planteadas, y una fase de aplicación por simulación en la estación para pronosticar el comportamiento del gas natural, y la selección de elementos apropiados para asegurar el desempeño correcto de la instalación.

Por otro lado, Palacio y Sepúlveda² en su trabajo "Implementación de plan de mantenimiento para las estaciones de servicio de gas natural vehicular de E.P.M." desarrollado en el país, buscan diseñar e implementar un Plan de mantenimiento para los compresores y surtidores de las estaciones de gas natural vehicular propiedad de Empresas Públicas de Medellín. Para ello, los autores realizan un plan

¹ CUADROS P. JUAN F. Diseño de una estación reductora de presión (city gate) de gas natural procedente de Camisea. Universidad Católica de Santa María (2014). Disponible en: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_39b9b6069ee0d23c6170ef9b72eda7d9

² PALACIO GONZÁLEZ S. A., SEPÚLVEDA VÁSQUEZ S.A., «Estudio de prefactibilidad para la implementación del programa mejorado de mantenimiento preventivo de las estaciones reguladoras en la Empresa Gas Natural Fenosa en Bogotá,» Institución Universitaria Pascual Bravo. Ingeniería Mecánica Y Afines. Ingeniería Mecánica Industrial. Medellín. 2015

de mantenimiento basado en Mantenimiento Por Condición (CBM). De forma similar, dentro de su metodología, se tienen en cuenta criterios como el tiempo y los recursos mínimos requeridos para el óptimo funcionamiento de las EDS y su disponibilidad.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

- Establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en repuestos críticos para los equipos de compresión de las estaciones de compresión de gas, Miraflores, Puente Guillermo, Paratebueno.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar fallas recurrentes a través del análisis histórico en el año 2019-2020.
- Establecer un stock de repuestos críticos requeridos en las Estaciones que genere una mayor confiabilidad operativa.
- Proponer alternativas a los planes de mantenimiento actuales que permitan una mayor eficiencia en la operación.

2. CUERPO DEL TRABAJO

2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1.1. HISTORIA

De acuerdo a la página Oficial de la empresa, en 1992 el Gobierno buscaba la masificación del consumo gas según se había definido mediante documento CONPES 2571 de 1991, luego de un seminario de industria para revisar las experiencias internacionales acerca de esquemas institucionales del sector gas, se concibió la creación de una empresa que se dedicara al transporte de gas natural en el interior de país. Adicionalmente, se concibió la construcción de la infraestructura de transporte por parte del sector privado, lo que no resultó viable sin el soporte del Estado.

Mas adelante, la Comisión Nacional de Energía - CNE - (hoy CREG) especificó el sistema de gasoductos a construirse y el esquema institucional para viabilizar su ejecución, el cual debía ser liderado inicialmente por Ecopetrol en asocio con el sector privado. Así pues, para acelerar dicho plan y dado que Ecopetrol no contaba con los recursos para ejecutarlo, a partir del plan de la CNE, el CONPES 2646 de 18 de marzo de 1993 ordenó que la construcción del sistema de gasoductos fuera una acción coordinada entre Ecopetrol y la empresa y, ordenó organizar una empresa dedicada exclusivamente a la actividad de transporte.

Entre 1993 y 1997, Ecopetrol desarrollo directamente y mediante contratos BOMT y similares con el sector privado la construcción del sistema de gasoductos. Los gasoductos Ballena - Barranca y Mariquita-Cali se contrataron por Ecopetrol bajo esquema BOMT con Centragas (filial de Enron) y Transgas de Occidente (consorcio entre Transcanada y BP), respectivamente. Así mismo otros gasoductos bajo

contratos de transporte en firme, como fue el ramal a Medellín con Transmetano (empresa liderada por EPM), y otros construidos directamente por Ecopetrol como nuevos o convertidos de oleoducto a gasoducto, como Cusiana-LaBelleza.

Una vez todo el sistema planeado inicialmente se encontraba contratado, construido o en proceso de construcción, el Congreso Nacional mediante la Ley 401 en agosto 20 de 1997 creó ECOGAS - Empresa Colombiana de Gas- como empresa industrial y comercial del Estado enfocada en el negocio de transporte de gas natural. Dicha ley dispuso que todos los activos y derechos vinculados a la actividad de transporte de gas natural de ECOPETROL pasar a ECOGAS, producto de la escisión de su patrimonio. Así mismo determinó que la sede de la nueva empresa fuera Bucaramanga. Durante los siguientes 10 años ECOGAS vio crecer el volumen transportado en la medida que el gas penetraba en el mercado energético del interior, mediante la construcción de redes de distribución, construcción de plantas térmicas a gas y conversión a gas de procesos industriales.

En el año 2006 la Nación decidió vender ECOGAS mediante subasta; tras no haber logrado acuerdo de precio con el sector solidario; se extendió al público y el Grupo Energía Bogotá en diciembre de dicho año la enajenó. La compra se hizo con la adquisición de todos los activos y negocios de ECOGAS, para lo cual fue necesario crear una nueva empresa - Transportadora de Gas del Interior.

TGI se constituyó como sociedad anónima por acciones el 16 de febrero de 2007, mediante escritura pública No. 67 de la Notaría 11 del Círculo de Bucaramanga, de conformidad con la Ley 142 de 1994 de servicios públicos, y más adelante cambiaría su nombre por Transportadora de Gas Internacional.

2.1.2. PROPÓSITO

Mejorar vidas con energía sostenible y competitiva.

2.1.3. TEMA DOMINANTE

TGI crea y provee soluciones integrales de “*Midstream*” de hidrocarburos de baja emisión a grandes usuarios, productores y desarrolladores de mercados energéticos, conectando fuentes con centros de consumo, a través de relaciones de largo plazo y negocios intensivos en capital.

2.1.4. PROPUESTA DE VALOR

La estrategia de TGI para generar valor a los diferentes grupos de interés se fundamenta en 3 elementos descritos a continuación:



INFRAESTRUCTURA: Operar y desarrollar la infraestructura de hidrocarburos de baja emisión con independencia y estándares de clase mundial en eficiencia, confiabilidad, integridad y sostenibilidad.



MIDSTREAM: Articular soluciones integrales para conectar fuentes con centros de consumo.

- Proveer servicios de midstream – transporte de gas, GNL y otros servicios – a productores e importadores
- Profundizar en negocios que impulsen la demanda de gas natural para grandes usuarios en urbes, industrias y generadores de electricidad, influyendo desde las capacidades de TGI como transportado



INNOVACIÓN: En línea con la estrategia del Grupo Energía Bogotá, desarrollar soluciones innovadoras que contribuyan a la transición energética y hacer más eficiente la operación

Figura 1. Elementos de la propuesta de valor TGI. Tomado de: TGI - Transportadora de Gas Internacional. Disponible en: tgi.com.co

2.1.5. MEGA

En 2027 TGI será una empresa líder de midstream en Colombia y con presencia en América Latina, enfocada en la eficiencia operacional, la sostenibilidad, la innovación y el desarrollo de nuevos negocios.

2.1.6. ESTRATEGIA

En TGI fundamentamos la estrategia en 5 pilares:



Figura 2. Pilares estrategia TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI. Tomado de: TGI - Transportadora de Gas Internacional. Disponible en: tgi.com.co

2.1.7. MAPA ESTRATÉGICO

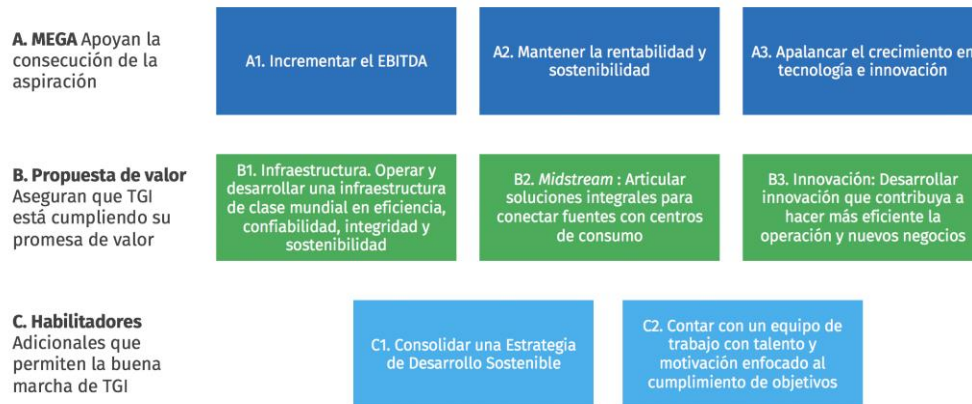


Figura 3. Mapa estratégico TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI. Tomado de: TGI - Transportadora de Gas Internacional. Disponible en: tgi.com.co

2.1.8. ORGANIGRAMA

Transportadora de Gas Internacional SA ESP Está conformado por 476 colaboradores, distribuidos de la siguiente manera: 253 en la sede administrativa y 223 en los distritos y estaciones compresoras de gas.

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

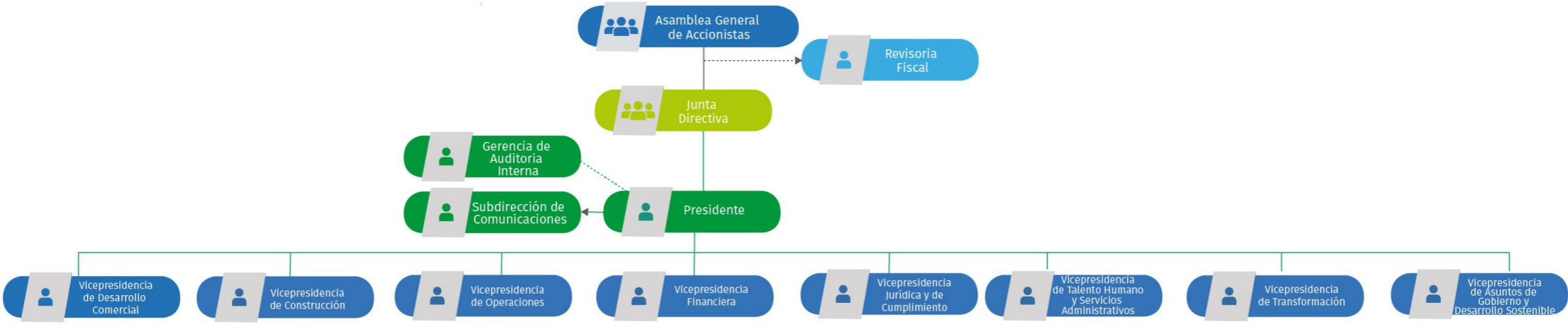


Figura 4. Organigrama TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI. Tomado de: TGI - Transportadora de Gas Internacional. Disponible en: tgi.com.co

2.1.9. INSTALACIONES Y PROCESO DE PRODUCCIÓN

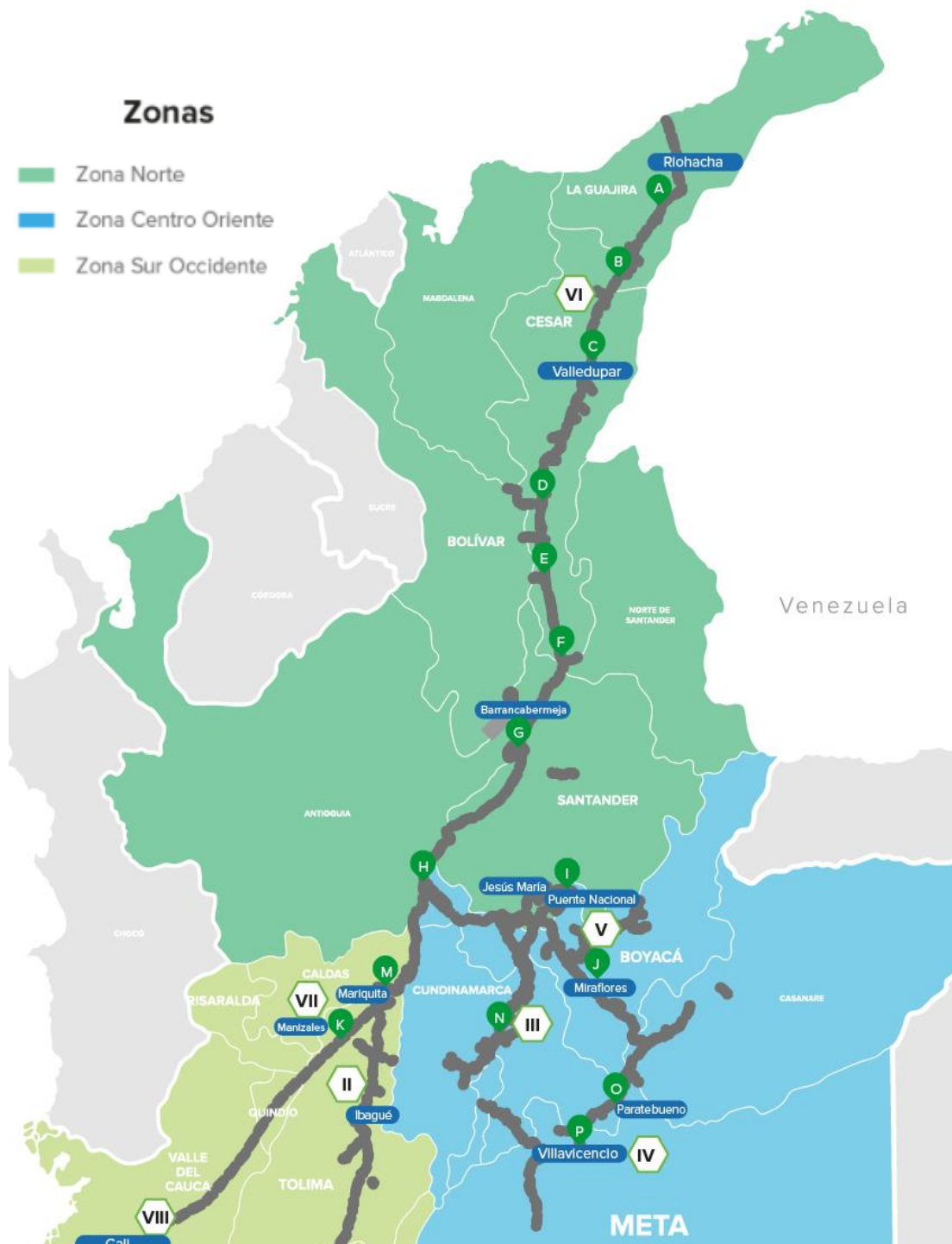


Figura 5. Infraestructura TGI. Elementos de la propuesta de valor TGI. Tomado de: TGI - Transportadora de Gas Internacional. Disponible en: tgi.com.co

Transportadora de Gas Internacional SA ESP cuenta con una amplia red de gasoductos de aproximadamente 4.000 kilómetros. La red de TGI, está conformada por un sistema de tres gasoductos principales, a los que se conectan ramales regionales que transportan el gas hasta los municipios donde están los “city gates”.

Adicionalmente, su infraestructura cuenta con 15 estaciones de compresión numeradas alfabéticamente, dentro de las cuales se encuentran las ECG de Miraflores, Paratebueno, Puente Guillermo, objeto del presente estudio.

Paratebueno: ubicada en Cundinamarca vereda Palomas, 5.5 km vía Paratebueno-Villanueva con 3 unidades de compresión y una capacidad de compresión de 5.040 hp

Puente Guillermo: ubicada a 188 km del gasoducto Cusiana-El Porvenir-La Belleza, con 9 unidades de compresión y una capacidad de compresión de 23.890 hp.

Miraflores: ubicada a 85 km del gasoducto Cusiana-El Porvenir-La Belleza, con 6 unidades de compresión y una capacidad de compresión de 22.055 hp.

2.2. MARCO DE ANTECEDENTES

En el marco internacional, Orellana³, en su trabajo “Implementación de plan de mantenimiento basado en condición en equipos de GNL Quintero” desarrollado en Chile, tiene como objetivo implementar un mantenimiento basado en condición para los equipos críticos de producción. Para tal fin, realizan una descripción de los equipos que conforman el terminal y la gestión de mantenimiento usada. Luego, se

³ ORELLANA F. A. Implementación de plan de mantenimiento basado en condición en equipos de GNL Quintero. Pontificia Universidad Católica De Valparaíso. Facultad De Ingeniería. Escuela De Ingeniería Mecánica(2016). Disponible en; http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-0500/UCC0867_01.pdf

entrega una visión general de las actividades de mantenimiento que se realizan actualmente en los equipos. Finalmente, a partir de una visión general del alcance del mantenimiento centrado en condición, se propone un plan de inspecciones para los equipos críticos de producción. Para lo cual, se usan como referencia los datos basados en la experiencia y el historial de mantenimiento.

A nivel nacional, Palacio y Sepúlveda en su trabajo “Implementación de plan de mantenimiento para las estaciones de servicio de gas natural vehicular de E.P.M.” desarrollado en Medellín, busca diseñar e implementar un plan de mantenimiento para los compresores y surtidores de las estaciones de gas natural vehicular propiedad de Empresas Públicas de Medellín, cumpliendo las normativas de la resolución 180928 y normas de seguridad industrial, y ambiental que rigen en la empresa. Para ello, los autores realizan un plan de mantenimiento basado en Mantenimiento Por Condición (CBM) desarrollado en las seis EDS propias de la empresa del sector de servicios públicos EPM. Dentro de su metodología y de valor para el presente trabajo, tuvieron cómo criterios el tiempo y los recursos mínimos requeridos para el óptimo funcionamiento de las EDS y su disponibilidad. Igualmente, los periodos de mantenimiento se establecieron de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y el inventario de repuestos para cada equipo, se realizó teniendo en cuenta los resultados los mantenimientos preventivos, predictivos y correctivos.

Por otro lado, el trabajo de Suárez⁴ titulado “Plan de mantenimiento preventivo en la planta de regulación de gas natural de la empresa Proviservicios S.A. ESP.” Y desarrollado en Cúcuta, busca diseñar el plan de mantenimiento preventivo detectando y clasificando las fallas en los elementos, basándose en los datos técnicos de los equipos y el historial desde su montaje para la planta de regulación

⁴ SUARÉZ, P. Plan de mantenimiento preventivo en la planta de regulación de gas natural delaempresa Proviservicios S.A. ESP. Universidad Antonio Nariño. Cúcuta 2021.

de la empresa Proviservicios SA ESP. Así mismo, la metodología usada es de carácter investigativo y parte práctica que está enmarcada en los procesos, tecnológico y métodos de la ingeniería. Además, se desarrolla una propuesta para la implementación de avisos y señales de seguridad industrial para que los operadores al momento de realizar las visitas y chequeos a la planta cuenten con todos los equipos y avisos necesarios para evitar un incidente o accidente laboral cuando estén ejecutando sus labores. Lo más relevante, para el presente trabajo, fue la definición del stock de repuestos; la cual se realizó siguiendo los criterios de: recomendaciones de los fabricantes, seguimiento durante 2,5 años a la operación de los compresores, mantenimientos correctivos registrados, mantenimientos predictivos y la disponibilidad y tiempos de entrega de los repuestos.

Por otro lado, Cuadro en su proyecto de investigación titulado "Diseño de la Estación de Descompresión de Gas Natural de Camisea (City Gate)", busca mostrar los procedimientos de cálculo y los requisitos mínimos requeridos para el diseño de la estación de acondicionamiento de gas. Dentro de la metodología, incluye una fase de análisis para definir y jerarquizar las variables planteadas, y una fase de implementación por simulación para pronosticar el comportamiento del gas natural, y seleccionar los elementos apropiados para asegurar el desempeño correcto de la instalación.

A nivel nacional, Sepúlveda⁵ en su trabajo "Estudio de Prefactibilidad para la Implementación del Programa Mejorado de Mantenimiento Preventivo de las Estaciones Reguladoras en la Empresa Gas Natural Fenosa en Bogotá" tiene como fin realizar un estudio de viabilidad de la implementación del nuevo programa mejorado de mantenimiento preventivo de las estaciones y encontrar los beneficios

⁵ H. A. Sepúlveda, «Estudio de prefactibilidad para la implementación del programa mejorado de mantenimiento preventivo de las estaciones reguladoras en la Empresa Gas Natural Fenosa en Bogotá,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019.

técnicos y económicos que ofrece el proyecto para los interesados. Dentro de sus principales hallazgos, visualizó que es posible obtener beneficios técnicos y económicos mediante un replanteamiento de la programación del mantenimiento en las estaciones de regulación, teniendo en cuenta las variables que contribuyen en la eficiencia de las mismas.

2.3. MARCO REFERENCIAL

Mantenimiento

Según (Suarez, 2007⁶ pág. 15), el mantenimiento es el conjunto de actividades que permiten conservar un equipo, sistema o instalación en condición operativa, de tal forma que desempeñe de manera óptima las funciones para las cuales fueron diseñados y establecidos.

Gestión del mantenimiento

“Actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada” (GONZALES, 2005⁷ pág. 54).

“Conjunto de actividades que deben realizarse a instalaciones y equipos, con el fin de corregir o prevenir fallas, buscando que estos continúen prestando el servicio para el cual fueron diseñados” (BERNARDO, 2010⁸ pág. 5).

“Según la norma europea, la moderna gestión de mantenimiento incluye todas aquellas actividades de gestión que determinan los objetivos o prioridades de

⁶ SUAREZ, JUAN. 2007. Mantenimiento Mecánico De Maquinas. Caracas: Universidad De Caracas, 2007. Pág. 15. 10.

⁷ GONZALES, JUAN. 2005. Gestión Y Logística Del Mantenimiento. San Vicente : Club Gama, 2005.—. 2005. Gestión Y Logística Del Mantenimiento. San Vicente :Club Gama, 2005.

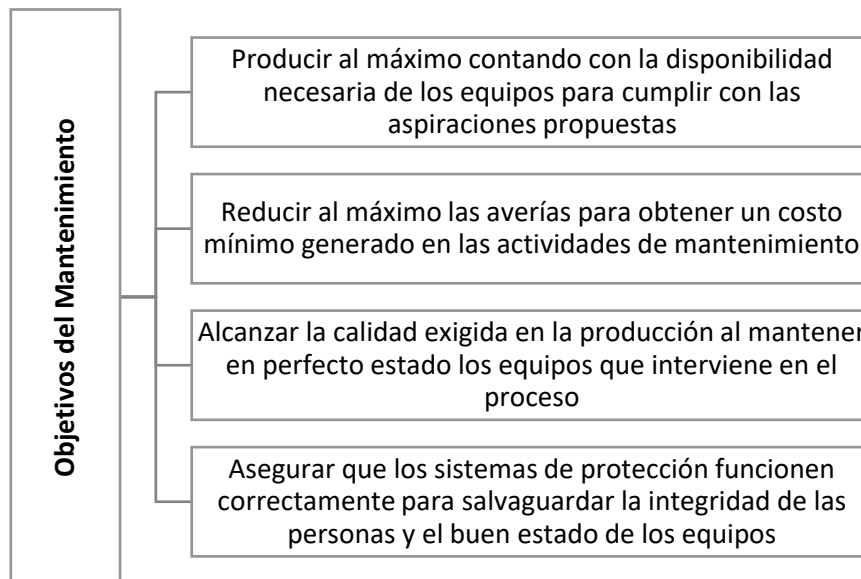
⁸ BERNARDO, MANUEL. 2010. Mantenimiento Enfocado En La Producción. Bogota : Grupo Aliaga, 2010.

mantenimiento (que se definen como las metas asignadas y aceptadas por la dirección del departamento de mantenimiento), las estrategias definidas como los métodos de gestión que se utilizan para conseguir las metas y los objetivos propuestos en la producción” (CRESPO, 2012⁹. pág. 13).

Objetivos del mantenimiento

El objetivo principal del mantenimiento es garantizar la producción de acuerdo a sus necesidad en el momento oportuno y con el mínimo coste integral. (CÁCERES, 2004¹⁰ pág. 6).

Según Maldonado¹¹, los principales objetivos del mantenimiento son:



⁹ CRESPO, ANDRES. 2012. Ingeniería De Mantenimiento Y Fiabilidad En La Gestión De Un Activo. Sevilla : Ingeitan, 2012.

¹⁰ CACERES, BRANDO. 2004. Como Incrementar La Competitividad Mediante Estrategias. Bogota : Aciem, 2004.

¹¹ MALDONADO VILLAVICENCIO, H., & SIGUENZA MALDONADO , L. Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera. . (2012) Dynasty Mining del cantón Portovelo. Obtenido de Web :<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1759/12/UPS-CT002328.pdf>

Figura 6 Objetivos del mantenimiento. Fuente: Maldonado (2012).

Tipos del mantenimiento

Existen diferentes tipos de mantenimiento, la selección del más adecuado para su aplicación depende de la comparación de los logros o beneficios a obtener. A continuación se presenta una división de los diferentes tipos de mantenimiento, los cuales se diferencian en forma mas no en su fin de lograr resultados que disminuyan los costos.

Tipo de mantenimiento	Forma
Mantenimiento correctivo	Una acción
Mantenimiento Progresivo	Recomendación del fabricante
Mantenimiento Programado <ul style="list-style-type: none">• Periódico• Sistemático	Metodología
Mantenimiento con Proyecto	Ingeniería de proyectos
Mantenimiento Preventivo	Una filosofía
Mantenimiento Predictivo	Una tecnología
Mantenimiento Productivo	Una estrategia
Mantenimiento Total	Un ideal

Tabla 1. Tipo de mantenimiento. Fuente: González, Carlos Ramon. Ingeniería de mantenimiento. Cap. III. UIS Bucaramanga

A continuación se describirá el mantenimiento preventivo, ya que este es el fundamento teórico sobre el cual se desarrolla esta monografía.

Mantenimiento Preventivo

Es el tipo de mantenimiento basado fundamentalmente en detectar una falla antes de que suceda, para dar tiempo a corregirla sin perjuicios al servicio, ni detención de la producción, etc. Para ello se desarrollan unos controles de forma periódica o continua, en función del tipo de equipo, sistema productivo, etc. Igualmente, se

emplean instrumentos de diagnóstico, aparatos y pruebas no destructivas, como análisis de lubricantes, comprobaciones de temperatura de equipos eléctricos, etc.

Adicionalmente, conforme a la experiencia o las condiciones del fabricante, es posible prever el tiempo de servicio (o de uso) de un dispositivo o equipo, este conocimiento permite hacer un programación para cambiar de dispositivo antes de que se produzca su falla. Esto es mantenimiento programado. Este mantenimiento, también es llamado mantenimiento planificado, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y habilidad del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos.

Características mantenimiento preventivo

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas de parada de la planta.
- Se lleva a cabo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios a la mano.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

El mantenimiento preventivo es una filosofía que inicia desde el momento del diseño del equipo y que determina su confiabilidad y mantenibilidad hasta su reemplazo, el cual se establece cuando sus altos costos de mantenimiento lo justifiquen económicamente.

Así mismo, en el mantenimiento preventivo al considerarse la fábrica en forma integral, su desarrollo no es una tarea exclusiva del personal de mantenimiento sino que abarca a todo el personal de la empresa.

En consecuencia un mínimo programa de Mantenimiento preventivo deberá incluir:

1. Una inspección periódica de las instalaciones para establecer posibles fallas de los equipos que puedan ocasionar perjuicios mayores.
2. La realización del mantenimiento oportuno y adecuado para corregir las fallas encontradas evitando que lleguen a ocasionar perjuicios mayores.

Análisis de Criticidad de repuestos:

Según Huerta¹² “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.

Como lo menciona el anterior autor¹² un Modelo básico de análisis de criticidad consta de:

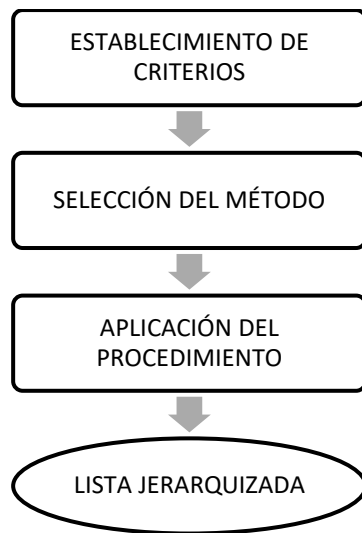


Figura 7. Modelo Básico de Criticidad.

“Dentro de los principales criterios se tienen:

Seguridad, ambiente, producción, costos (operacionales y de mantenimiento), Tiempo promedio para reparar, frecuencia de falla”¹².

Con estos criterios se selecciona un método basado en factores de cuantificación y se traza el procedimiento según la guía diseñada obteniendo como producto la lista jerarquizada.

Por medio de una encuesta aplicada a los trabajadores de mantenimiento que contenga los procesos para que se indique la criticidad en cada criterio mencionado anteriormente se obtiene como resultado una distribución de tres zonas críticas (Alta, mediana y baja)¹².

¹² HUERTA MENDOZA Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Venezuela: Revista Mantener # 6 (2000) Pag 15

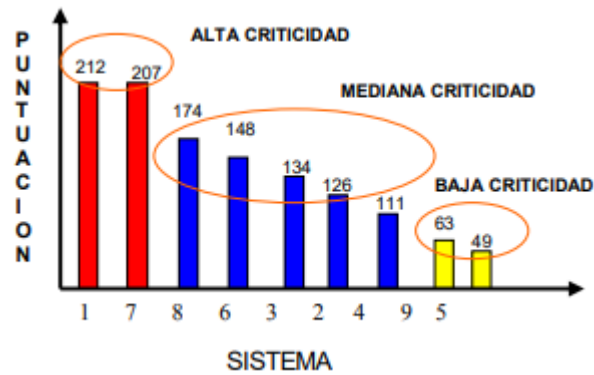


Figura 8. Gráfico de resultados de un análisis de criticidad¹³.

Lo anteriormente dicho permite reorganizar las prioridades de mantenimiento Según las zonas críticas encontradas y enfocar esfuerzos en las de alta criticidad.

2.4. MÉTODO.

La aplicación de la metodología se desarrolla en tres etapas o fases principales las cuales están descritas en la figura 9:

¹³ HUERTA MENDOZA Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Venezuela: Revista Mantener # 6 (2000) Pag 17

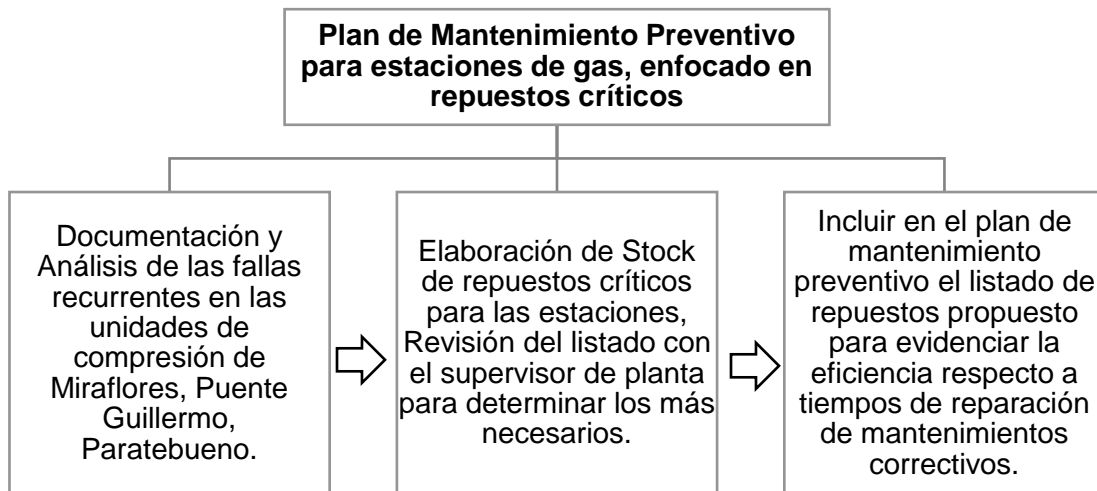


Figura 9. Metodología Plan de Mantenimiento Preventivo

2.4.1. FASES DE LA METODOLOGÍA

Fase 1

La primera etapa consiste en realizar una documentación y análisis de las fallas recurrentes en las unidades de compresión de Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno para el período de tiempo correspondiente al año 2020, esto en base a información suministrada por la empresa.

Fase 2

Esta fase consiste en la elaboración de Stock de repuestos críticos para las estaciones de acuerdo a las fallas recurrentes encontradas en la fase anterior. Para lo cual, se realiza una revisión de los repuestos considerados más críticos gracias al soporte externo prestado por la empresa Stock Gestión Integral y posteriormente se realiza una revisión del listado gracias a la experiencia del supervisor de planta de la empresa. Con esto, se determinan los repuestos más necesarios.

Fase 3

Esta última fase se divide en dos etapas, una primera etapa en la cual se realiza una clasificación, en función de dos factores; valor financiero de los materiales y una técnica de análisis de criticidad de acuerdo al stock de repuestos críticos. Y una segunda etapa, en la cual se desarrolla plan de mantenimiento preventivo enfocado en los repuestos críticos para las estaciones de compresión de gas Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno propiedad de TGI

2.4.2. TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN

El método propuesto combina dos técnicas para clasificar los materiales. En primer lugar se emplea la técnica XYZ (Brown, 2004¹⁴) que consiste en determinar tres categorías (X, Y, Z) de materiales en función de su valor financiero. El valor total del inventario (100%) se distribuye en las tres categorías mencionadas, de acuerdo a la tabla 1.

CATEGORÍA	VALOR	% VALOR TOTAL	% ARTÍCULOS
X	ALTO	60	4
Y	MEDIO	30	16
Z	BAJO	10	80

Tabla 2. Definición de las categorías de materiales según su valor.

En segundo lugar se procede a aplicar una técnica de análisis de criticidad para identificar y jerarquizar por su importancia los repuestos para las estaciones de compresión de gas. En este caso, se toma en cuenta exclusivamente el stock de seguridad para dichos elementos, analizados en la fase 2 de la metodología planteada. En la tabla 2 se observa las características tomadas para determinar las tres categorías de criticidad. Cabe mencionar, que dicha criticidad está basada en recomendación del supervisor y su experticia en la operación.

¹⁴ BROWN MICHAEL. Managing Maintenance Storerooms. Audel. Wiley Publishing Inc. 2004

CATEGORÍA	CRITICIDAD	STOCK DE REPUESTOS
3	ALTO	MÁS DE 10 UNIDADES
2	MEDIO	ENTRE 5 Y 10 UNIDADES
1	BAJO	MENOR A 5 UNIDADES

Tabla 3. Definición de las categorías de materiales según su criticidad.

2.5. MÉTODO PR-C&V: PRIORIZACIÓN DE REPUESTOS POR CRITICIDAD Y VALOR ECONÓMICO

El método PR-C&V, propone un proceso mediante el cual se debe asignar a cada ítem del inventario uno de los 9 códigos posibles (tabla 4) dependiendo de las categorías a las que corresponda según su valor y su criticidad¹⁵.

CRITICIDAD	3	3Z	3Y	3X
	2	2Z	2Y	2X
	1	1Z	1Y	1X
		Z	Y	X
		VALOR		

Tabla 4. Códigos posibles para ítem en inventario.

Independientemente del número de ítems que se tenga en inventario, cada uno de ellos podrá ser codificado de tal manera que pertenezca a una de las 9 categorías que se observan en la tabla 4. Ahora se define un orden de jerarquía que permitirá asignar la importancia en cuanto a la orientación de los esfuerzos necesarios para la optimización de los inventarios. Esta jerarquía depende del criterio de prioridad asignado. Esto es, si se da prioridad al valor del inventario, entonces la jerarquía

¹⁵ CONTRERAS JOSE Y PARRA CARLOS. Propuesta De Un Método De Priorización De Inventarios En El Área Del Mantenimiento Denominado: Pr-C&V (Priorización De Repuestos Por Criticidad Y Valor Económico). 2013

quedará establecida de acuerdo a la figura 1. Se puede observar que existen tres prioridades: Alta prioridad (ROJO): Materiales con valor X, criticidad decreciente. Mediana prioridad (AMARILLO): Materiales con valor Y, criticidad decreciente. Baja prioridad (VERDE): Materiales con valor Z, criticidad decreciente.

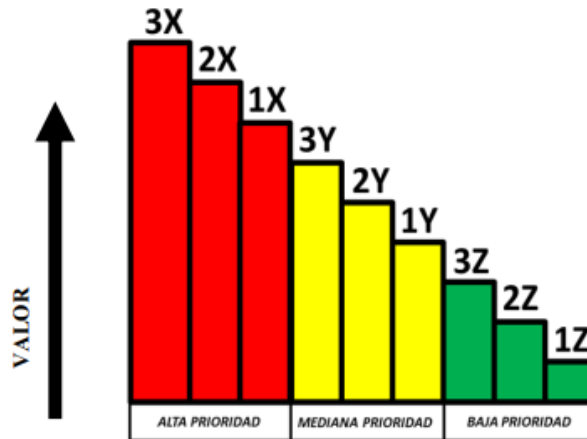


Figura 10. Jerarquía definida por el valor de los materiales

Otra forma de determinar la jerarquía es dando prioridad a la criticidad de los materiales, entonces la jerarquía quedará establecida de acuerdo a la figura 10. Igualmente, se puede observar que existen tres prioridades: Alta prioridad (ROJO): Materiales con criticidad 3, valor decreciente. Mediana prioridad (AMARILLO): Materiales con criticidad 2, valor decreciente. Baja prioridad (VERDE): Materiales con criticidad 1, valor decreciente.

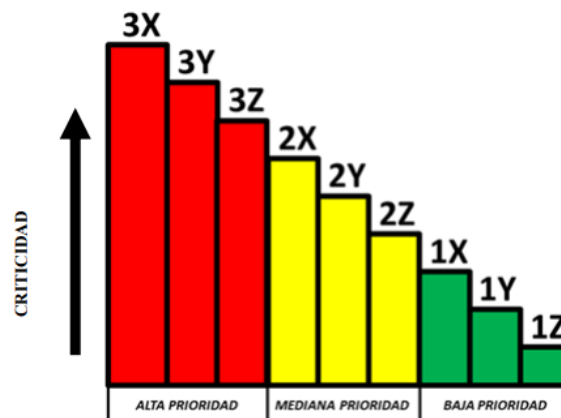


Figura 11. Jerarquía definida por la criticidad de los materiales

2.6. ORDEN DE JERARQUÍA

Ahora se selecciona el orden de jerarquía, el cual será de acuerdo a uno de los dos criterios explicados en las figuras 10 y 11. Entonces, se adopta el criterio donde la prioridad es la criticidad del material (Figura 11), ya que el objetivo es establecer un stock de repuestos críticos requeridos en las estaciones que genere una mayor confiabilidad operativa prevaleciendo el costo por indisponibilidad sobre el costo de almacenamiento.

2.7. RESULTADOS.

Fase 1

Para esta primera etapa se realizó un diagnóstico desde la documentación y un análisis de las fallas recurrentes en las unidades de compresión que comprenden las estaciones de Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno en referencia al periodo anual 2020, esto en base a información suministrada por la empresa. Dicha información se encuentra detallada en el Anexo 1. Así pues, el histórico de resultado de las fallas se presenta en la siguiente figura:

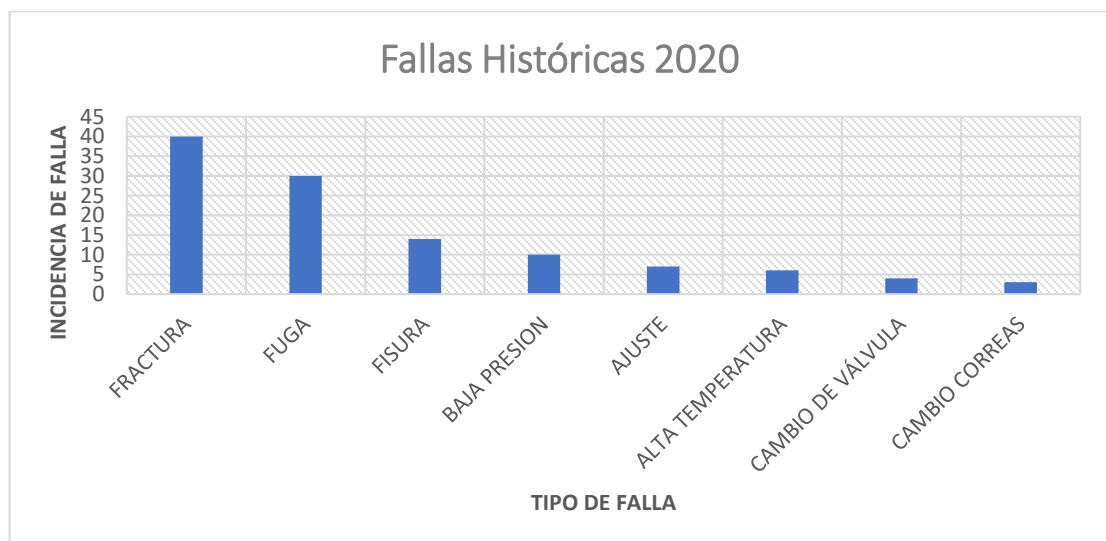


Figura 12. Histórico de fallas estaciones Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno.

De acuerdo con la figura 12, se observa que las fallas que mayor incidencia tienen en las unidades de compresión son las fracturas de mangueras con 40 incidentes representando un 35,09% del total de fallas anuales, seguidas de las fugas de refrigerante con un 26,32% (30) del total de fallas anuales. En menor medida, las fisuras en el acople flexible del cooler (14) y la baja presión en el motor (10) están afectando la compresión de gas.

Por otro lado, el ajuste de soportería en la línea botellas, la alta temperatura y los cambios de válvula y correas son responsables en conjunto de 20 fallas anuales, lo cual se debería solucionar con tan solo la aplicación del mantenimiento preventivo de los compresores prevista en los planes de cada estación. Cabe recordar, que la solución de fallas según el histórico se realiza de manera reactiva.

Fase 2

Esta fase se elaboró el Stock de repuestos para el distrito D4 que comprenden la estación de Paratebuena y el distrito D5 que comprende las estaciones entre Puente Guillermo y Miraflores. Para ello, se realiza una revisión de los repuestos considerados más críticos gracias al soporte externo prestado por la empresa *Stock Gestión Integral* y posteriormente se realiza una revisión del listado gracias a la experticia del supervisor de planta de la empresa. Con esto, se determinan los repuestos que realmente son más necesarios. Lo anterior, se encuentra visualizado en el análisis del Anexo 2.

Fase 3

Para esta última fase, se realiza una clasificación, en función de dos factores; valor financiero de los materiales y una técnica de análisis de criticidad de acuerdo al stock de repuestos críticos, lo anterior se visualiza en el Método PR-C&V D4 del Anexo 2 y se resume en las siguientes tablas:

Código Material	DESCRIPCIÓN	CRITICIDAD	VALOR
2050002582	Bateria, Rectang, 12V, 100Ah, Recarg, Sellada	3	Z
2090001401	Elemento, Filtr, Gas, 3.125in, 4.5in, 36in	3	Z
2080002922	SEALWELD CLEANER SVC10	3	Z
2090000381	Lubricante, Sellador, SEALWELD.#911, 230°C	3	Z
2040003109	Tubing, Instr, SS, 1/2in, OD, 0.035in, A269	3	Z
2090000382	Sellante, Gener, Valv. Bola, Frasco, #5050	3	Z
2010000867	Union, Instr, Recta, SS316, 1/2in, OD, A182	3	Z
2090000118	Elemento, Filtro, Piloto, FRANCEL, 118926	3	Z
2010000373	Espirometalico, CG, 6in, CI300, RF, 3/16in, SS	2	Z
2020000231	Set. Ferula, SS, 1/2in, SWAGELOK, SS810SET	2	Z
2040003173	Manometro, Reg. Pres, 0-16bar, 460377	2	Z
2050002530	Protector, Coaxial, Al, POLYPHASER, GTNFFAL	1	Z
2030002296	Antena, Yagi, ANDREW,	1	Z
2040001088	Codo, Instr, SS, 90°, 1/2in, OD, A182, F-316	1	Z
2030002364	Conector, TNCXN, Cable. Coax, Macho; 1m	1	Z
2010000472	Esparrago, CS, 5/8in, 3in, A193, B7, A194, 2H	1	Z
2030002261	Conector, Protector, Coax, CITEL, P8AX09N/FF	1	Z
2040001970	O-Ring, Sello, Regul. Pres, FRANCEL, 400009	1	Z
2040000122	FILTER PORAL 118926B P/PILOTO UNIDAD REG	1	Z
2010000843	Tubing, Instr, SS, 1/4in, 0.035in, SMLS	1	Z
2020000307	Kit, Repar, Actuad, 12SH, BETTIS, 002913	1	Z
2020000765	O-Ring, Viton, Tapon, Actuad. Neum, BETTIS,	1	Z
2040000535	Te, Instr, Union, SS, 1/2in, OD, A182, F-316	1	Z
2090000597	Aceite, Hid, 370, 14cSt, D445, 107°C, -64°C	1	Z

Tabla 5. Orden de jerarquía para la optimización de repuestos críticos para las estaciones de Puente Guillermo y Miraflores.

Según estos resultados, se observa que solo 8 de los repuestos dentro del total del stock tienen alta prioridad ya que son materiales con criticidad 3, según el método de priorización de repuestos por criticidad y valor económico. Igualmente, 3 de los repuestos son de Mediana prioridad o materiales con criticidad 2, valor decreciente y 13 son repuestos de baja prioridad o criticidad 1.

Por otro lado, en su conjunto todo el stock de repuestos no representa un riesgo en torno al valor del inventario.

DESCRIPCIÓN	CRITICIDAD	VALOR
Conector,Instr,SS,3/8in,1/4in,ODxMNPT	3	X
Ferula,SS316,3/8in,SWAGELOK,SS600SET	3	X
Tubing,Instr,SS,3/8in,OD,0.035in,A269	3	Y
O-Ring,Buna-N,HONEYWELL,42710P150	3	Y
Conector,Instr,Reduccion,SS,3/8in,1/4in	3	Y
Anillo,Soporte,Vast,FISHER,1K786806992	3	Y
Filtro,Sep,Coalescente,1-3/16in	3	Y
Set.Ferula,SS,1/2in,SWAGELOK,SS810SET	3	Y
Tubing,Instr,SS,1/4in,0.035in,SMLS	3	Y
Tubing,Instr,SS,1/2in,OD,0.035in,A269	3	Y
Codo,Instr,SS,90°,1/4in,OD,1/4in,MNPT	3	Z
Conector,Instr,Recto,SS,1/2in,OD,MNPT	3	Z
Te,Instr,Union,SS,1/4in,OD,A182,F-316	3	Z
Diafragma,FISHER,12B0178X012	2	Z
Disco,Completo,627,FISHER,1C4248X0262	2	Z
Bateria,Rectang,12V,100Ah,Recarg,Sellada	2	Z
Valvula,Bola,1Pza,SS,1/2in,2500psi,FNPT	2	Z
Manometro,4in,0-2000psi,1/2in,CI,MNPT,SS	2	Z
Codo,Instr,SS,90°,1/2in,OD,1/2in,MNPT	2	Z
Adaptador,Instr,Tubo,SS,1/4in,OD,MNPT	1	Z
Espirometalico,CG,1-1/2in,CI600,3/16in	1	Z
Anillo, AMC,78074P029	1	Z
Tope, AMC,73659P003	1	Z
Niple,Tub,Hex,SS,1/4in,2in,MNPT,A182	1	Z
Manga,2in,B5,AMC,73404P055	1	Z
Conector,Instr,Reduccion,SS,1/2in,1/4in	1	Z
Manometro,4in,0-1000psi,1/2in,MNPT,SS	1	Z
Kit,Repar,FISHER,R627HX00S12	1	Z
Reduccion,Instr,SS,3/8in,1/4in,MNPTXFNPT	1	Z
Manometro,4in,0-600psi,1/2in,CI,MNPT,SS	1	Z
Tornillo,Ajuste,FISHER,10B3081X012	1	Z
Espirometalico,CG,26in,CI600,3/16in,SS	1	Z
Manometro,4in,0-100psi,1/2in,CI,MNPT,SS	1	Z
Orificio,Ventao,FISHER,10B3093X012	1	Z
Te,Instr,Union,SS,3/8in,OD,A182,F-316	1	Z
Kit,Repar,FISHER,R627X000S12	1	Z
Kit,Tapon, ELSTER,74036K002	1	Z
Tapon,Instr,Cab.Hex,SS,1/4in,OD,A182	1	Z
Fuente,Aliment,EMERSON,396657028	1	Z
Manometro,4in,0-200psi,1/2in,CI,MNPT,SS	1	Z
Te,Instr,Recta,SS,1/4in,OD,1/4in,MNPT	1	Z
Tapon,Instr,Cab.Hex,SS,1/4in,MNPT,A182	1	Z
CORTACIRCUITO 15KVA	1	Z
Bateria,12V,7Ah,Recarg,151x65x100mm	1	Z

Espirometalico,CG,4in,CI600,RF,3/16in,SS	1	Z
Conector,Instr,Reduccion,SS,1/4in,1/2in	1	Z
Kit,Repar,Bomba.Manual,BETTIS,905993R0	1	Z
Tapa,Tornillo.Ajuste,FISHER,20B3082X012	1	Z
Espirometalico,CG,6in,CI600,RF,3/16in,SS	1	Z

Tabla 6. Orden de jerarquía para la optimización de repuestos críticos para la estación de Paratebueno.

Según la tabla 6, se observa que solo 13 de los repuestos dentro del total del stock son de alta prioridad ya que son materiales con criticidad 3,. Por la misma línea, 6 de los repuestos son de Mediana prioridad o materiales con criticidad 2 y la gran mayoría (30) son repuestos de baja prioridad o criticidad 1.

Por otro lado, dos de estos repuestos representan un riesgo tanto en el stock de seguridad como en el valor del inventario. Igualmente, en su conjunto todo el stock de repuestos no representa un riesgo en torno al valor del inventario.

Finalmente, como resultado de la jerarquización por criticidad se presentan el stock de seguridad para cada distrito y sus estaciones específicas:

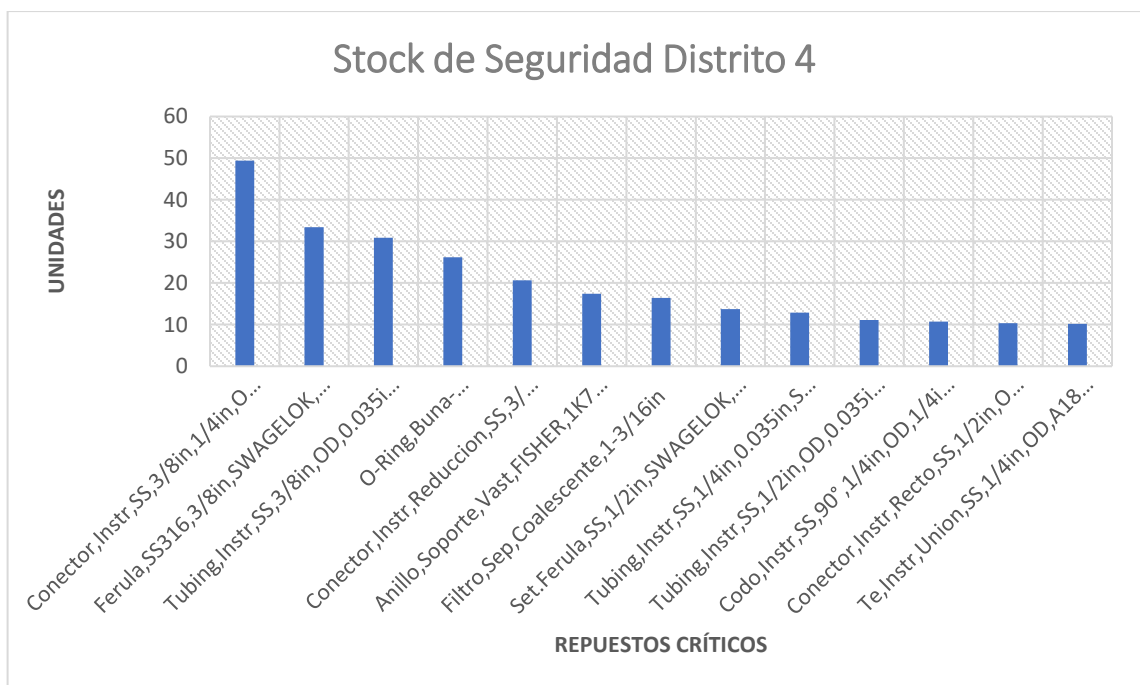


Figura 13. Stock de Seguridad para la Estación de Paratebueno.

Para la estación de Paratebueno, se observa que los stocks de seguridad mayormente deben estar enfocados Swagelok (conectores, tubing, válvulas y racores). Siendo más representativos el conector hembra de 1/4 pulgadas a 3/8 pulgadas con 49 unidades, el juego de virola de acero inoxidable de 3/8" Swagelok SS-600 con 33 unidades, Tubería 3/8 pulgadas A269 con 31 unidades y el conector de reducción de 3/8 a 1/4 pulgadas con 21 unidades.

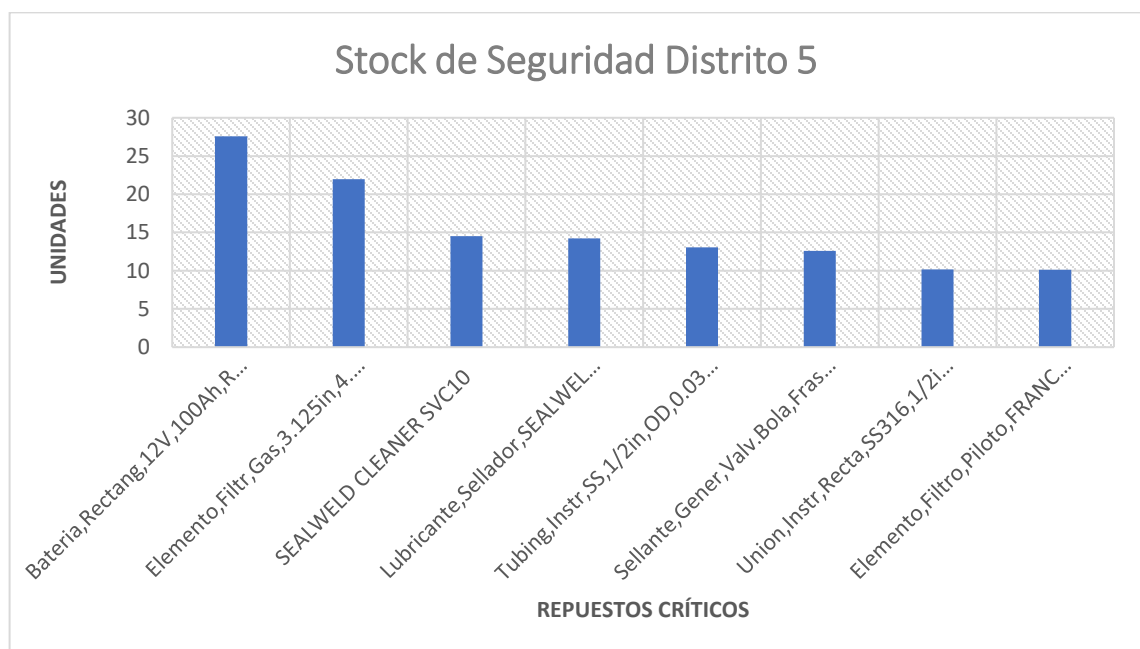


Figura 14. Stock de Seguridad para las Estaciones de Puente Guillermo y Miraflores.

Como se observa en la figura 14, para las estaciones de Miraflores, Puente Guillermo el stock de seguridad está enfocado en baterías, elementos filtrantes, y lubricantes.

2.8. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA LAS ESTACIONES DE COMPRESIÓN DE GAS MIRAFLORES, PUENTE GUILLERMO Y PARATEBUENO ENFOCADO EN REPUESTOS CRÍTICOS

Dado que las estaciones ya cuentan con sus respectivos planes de mantenimiento, el presente plan de mantenimiento preventivo se enfoca exclusivamente en los repuestos críticos para las unidades de compresión y con el fin de evitar que las estaciones queden fuera de línea por fallas que se puedan presentar en los equipos por falta de repuestos.

2.8.1. OBJETIVO

El modelo de mantenimiento preventivo para los sistemas de compresión de TGI SA ESP tiene como objetivo: Garantizar la disponibilidad y confiabilidad operacional de los sistemas de compresión de gas enfocado en los repuestos críticos, de una manera eficiente y segura, con el fin de contribuir en el cumplimiento de la política de calidad establecida por la empresa.

2.8.2. RECOMENDACIONES TÉCNICAS.

Se recomienda realizar un mantenimiento periódico en cada una de las unidades de compresión para prolongar su vida útil y asegurar su correcto funcionamiento, además se recomienda seguir los estándares o normativas en cuanto a condiciones óptimas de operación de los equipos, buscando extender los periodos de estos mantenimientos como es el caso de la norma API 618 en equipos reciprocantes. La frecuencia del mantenimiento está determinada por el ambiente donde se encuentra el compresor, las cargas impuestas por el usuario y la pureza del gas esto debe estar contemplado en cada uno de los planes de mantenimiento preventivos de las diferentes estaciones.

2.8.3. ENTRADAS Y SALIDAS DEL MODELO DE MANTENIMIENTO

Las entradas del sistema de mantenimiento de TGI la conforman los recursos de mantenimiento ya sean humanos, servicios, presupuesto, documentos referentes, herramientas, repuestos; los requerimientos de producción; los activos de planta y las mediciones realizadas al sistema; la salida del sistema es la estructura de equipos de compresión de gas disponible, confiable y bien configurado para lograr la operación planeada de la planta.

2.8.4. SISTEMA DE INFORMACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para un correcto soporte del programa de mantenimiento preventivo en TGI, se recomienda llevar el registro en un sistema de información, para llevar el mantenimiento de una forma organizada y programada. Así pues, este sistema de información asiste en el control de las actividades e intervenciones hechas a los equipos como también los repuestos críticos empleados y sus costos. Adicionalmente, dicha información debe estar asociado a los demás planes de mantenimiento preventivos, propios de cada estación o distrito, para que el cubrimiento preventivo sea integral. El sistema de información del programa está conformado por el siguiente formato:

2.8.5. PLAN DE MANTENIMIENTO

Este formato recoge la información de cada estación, describiendo y evaluando los sistemas de compresión de gas, su operación y estado de acuerdo con cada uno de los repuestos críticos obtenidos en el stock de seguridad. Dicho formato tiene una vigencia de chequeo mensual y está conformado por:

- Fecha
- Vigencia (mes en que se realiza)
- Quién realiza (realizó)
- Quien aprueba (Vo. Bo.)
- Distrito

- Estación
- Unidad compresora: Código TGI
- Repuesto crítico: Descripción y código TGI
- Inventario: stock de seguridad, unidades disponibles y unidades faltantes.
- Frecuencia: diaria, semanal, mensual, trimestral, anual.
- Sistema al que pertenece: motor; compresor
- Tipo de mantenimiento: autónomo, programado.
- Novedades encontradas
- Observaciones

A continuación se muestra una visualización del formato, el cual está contenido en el Anexo 3. Plan de Mantenimiento:


 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REPUESTOS CRÍTICOS										Fecha	Vigencia
DISTRITO 4											
ESTACIÓN:											
UNIDAD COMPRESORA:					CÓDIGO:					Realizó:	Vo. Bo.
CÓDIGO	REPUESTO CRÍTICO	STOCK DE SEGURIDAD	INVENTARIO		FRECUENCIA	SISTEMA		NOVEDADES ENCONTRADAS:			
			DISPONIBLES	FALTANTES		M	C				
2040001080	Conector,Instr,SS,3/8in,1/4in,ODxMNPT										
2020001266	Ferula,SS316,3/8in,SWAGELOK,SS600SET										
2040003108	Tubing,Instr,SS,3/8in,OD,0.035in,A269										
2020000345	O-Ring,Buna-N,HONEYWELL,42710P150										
2010001674	Conector,Instr,Reduccion,SS,3/8in,1/4in										
2020000362	Anillo,Soporte,Vast,FISHER,1K786806992										
2090001215	Filtro,Sep,Coalescente,1-3/16in										
2020000231	Set,Ferula,SS,1/2in,SWAGELOK,SS810SET										
2010000843	Tubing,Instr,SS,1/4in,0.035in,SMLS										
2040003109	Tubing,Instr,SS,1/2in,OD,0.035in,A269										
2040003096	Codo,Instr,SS,90°,1/4in,OD,1/4in,MNPT										
2010000296	Conector,Instr,Recto,SS,1/2in,OD,MNPT										
2040002564	Te,Instr,Union,SS,1/4in,OD,A182,F-316										
OBSERVACIONES:						TIPO DE MANTENIMIENTO		PARTE DEL SISTEMA		FRECUENCIA TAREA	
						AUTÓNOMO <input type="checkbox"/>		M-MOTOR		D-DIARIA	
						PROGRAMADO <input type="checkbox"/>		C-COMPRESOR		S-SEMANAL	
										T-TRIMESTRAL	
										C-SEMANAL	
										M-MENSUAL	
										A-ANUAL	

Figura 15. Formato Plan de Mantenimiento para la Estación de Paratebueno.


 PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO REPUESTOS CRÍTICOS										Fecha	Vigencia
DISTRITO 4										Realizó:	Vo. Bo.
ESTACIÓN:											
UNIDAD COMPRESORA:					CÓDIGO:						
CÓDIGO	REPUESTO CRÍTICO	STOCK DE SEGURIDAD	INVENTARIO		FRECUENCIA	SISTEMA		NOVEDADES ENCONTRADAS:			
			DISPONIBLES	FALTANTES		M	C				
2050002582	Bateria, Rectang, 12V, 100Ah, Recarg, Sellada										
2090001401	Elemento, Fitr, Gas, 3. 125in, 4. 5in, 36in										
2080002922	SEALWELD CLEANER SVC10										
2090000381	Lubricante, Sellador, SEALWELD, #911, 230°C										
2040003109	Tubing, Instr, SS, 1/2in, OD, 0.035in, A269										
2090000382	Sellante, Gener, Valv, Bola, Frasco, #5050										
2010000867	Union, Instr, Recta, SS316, 1/2in, OD, A182										
2090000118	Elemento, Filtro, Piloto, FRANCEL, 118926										
OBSERVACIONES:					TIPO DE MANTENIMIENTO		PARTE DEL SISTEMA		FRECUENCIA TAREA		
					AUTÓNOMO		M-MOTOR		D - DIARIA		
					PROGRAMADO		C-COMPRESOR		S - SEMANAL		
									T - TRIMESTRAL		
									C - SEMESTRAL		
									M - MENSUAL		
									A - ANUAL		

Figura 16. Formato Plan de Mantenimiento para las Estaciones de Puente Guillermo y Miraflores.

2.8.6. ACTIVIDADES DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Las actividades del plan de mantenimiento preventivo tendrán como objetivo conservar las condiciones óptimas de funcionamiento y detectar posibles fallas potenciales que puedan ocasionar parada en la producción o afectar la seguridad del personal. Las actividades de mantenimiento preventivo estarán conformadas por:

Mantenimiento Autónomo: El mantenimiento autónomo está conformado por todas las actividades que realizan diariamente todos los trabajadores en los equipos que operan, incluyendo inspección, lubricación, limpieza, intervenciones menores, cambio de herramientas y piezas, estudiando mejoras, analizando y solucionando problemas para mantener el equipo en las mejores condiciones de funcionamiento. Estas actividades se deben realizar siguiendo estándares y manuales previamente preparados. Los operarios deben ser entrenados y contar con los conocimientos y capacidades necesarias para dominar el equipo que opera.

Inspecciones Periódicas Programadas: Para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo se debe revisar a intervalos fijos, independientemente de su estado original, los repuestos críticos encontrados en la etapa de selección del stock de repuestos críticos. El propósito principal de las inspecciones es obtener información útil acerca del estado de las partes del sistema de compresión de gas.

La información de estas inspecciones es utilizada para evitar fallas relacionadas con la disponibilidad de las piezas críticas. Por otro lado, los intervalos de tiempo definidos para cada pieza deben ser obtenidos de las características del equipo y los manuales del fabricante. De igual forma, estos intervalos en el presente plan de mantenimiento vendrán establecidos en periodos de tiempo diario, semanal, mensual, trimestral o anual; según sea el caso de cada equipo en específico.

2.8.7. PROCEDIMIENTO GENERAL DE MANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo se desarrollarán bajo el procedimiento de mantenimiento general definido por TGI. En el flujograma de mantenimiento (figura 16) se describen los pasos a seguir para el desarrollo de los del mantenimiento.

- 1) El supervisor de la estación será el encargado de programar, coordinar y verificar las tareas relacionadas con el mantenimiento interno de los compresores de gas.
- 2) Las actividades mantenimiento preventivo son ejecutadas por el operario y el personal de mantenimiento según sea el caso.
- 3) El mantenimiento autónomo lo ejecutará el operario al inicio y en el transcurso del trabajo diario.
- 4) El supervisor de la estación programa las inspecciones periódicas mensuales, trimestrales, semestrales y anuales a cada uno de los equipos que contienen repuestos críticos. Las inspecciones periódicas serán realizadas por el operario y el personal de mantenimiento.
- 5) El operario y/o personal de mantenimiento deben garantizar que el equipo no presente alguna anomalía antes y durante el funcionamiento.
- 6) El operario y/o el personal de mantenimiento registran en el formato “Plan de Mantenimiento”, el inventario de repuestos críticos.
- 7) El operario y/o el personal de mantenimiento registran en el formato “Plan de Mantenimiento”, las anomalías observadas en los repuestos, si las hubiera.

- 8) El operario y/o el personal de mantenimiento informa de los repuestos en mal estado para su cambio.
- 9) El responsable del contrato en marcha evalúa cada una de las solicitudes de repuestos y solicita los repuestos críticos faltantes para ejecutar un futuro mantenimiento.
- 10) El almacenista adquiere y registra los nuevos materiales.

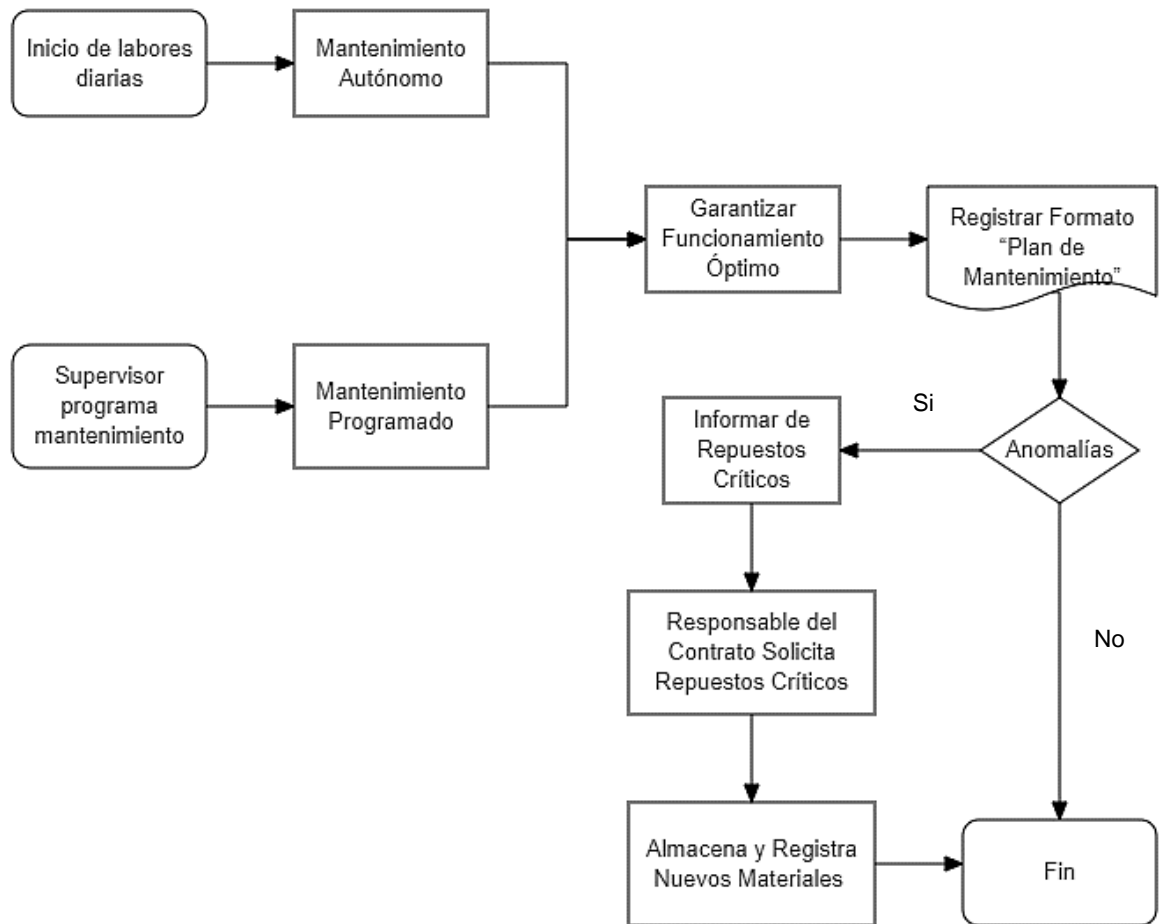


Figura 17. Flujograma Plan de Mantenimiento.

2.8.8. INDICADORES DE MANTENIMIENTO

Para lograr tomar decisiones o determinar la eficiencia y eficacia en los procesos del presente mantenimiento preventivo se utilizan los indicadores, con ellos se podrá evaluar la gestión de mantenimiento. De igual forma, su aplicación, posterior reforma o adición de nuevos indicadores dependerá del responsable del Plan de Mantenimiento. Se presentan a continuación los recomendados:

Modelo Indicadores.

INDICADORES PLAN DE MANTENIMIENTO REPUESTOS CRÍTICOS	
SOLICITUDES DE REPUESTOS RESUELTAS	Página 1 de 1
FECHA:	
OBJETIVO: Conocer la efectividad en las solicitudes de repuestos en un período de tiempo.	DEFINICIÓN: Determinar el porcentaje de solicitudes de repuestos resueltas.
PERIODICIDAD: Semanal	CÁLCULO:
RESPONSABLE: Supervisor	$\% = \frac{\text{número de solicitudes resueltas}}{\text{total solicitudes generadas}} * 100$
META: 100% es stock crítico!	

INDICADORES PLAN DE MANTENIMIENTO REPUESTOS CRÍTICOS	
CONTRACCIÓN DE INVENTARIO CRÍTICO	Página 1 de 1
FECHA:	
OBJETIVO: Conocer la diferencia entre el stock registrado en el stock crítico y las existencias reales disponibles en el almacén, en un período de tiempo.	DEFINICIÓN: Determinar el porcentaje de pedidos satisfechos, en el tiempo y cantidades solicitadas.
PERIODICIDAD: Mensual	CÁLCULO:
RESPONSABLE: Supervisor	$\% = \frac{\text{stock crítico} - \text{stock real en inventario}}{\text{stock crítico}} * 100$
META: 100%	

Figura 18. Modelo de indicadores.

CONCLUSIONES

- Se estableció un plan de mantenimiento preventivo basado en repuestos críticos para los equipos de compresión de las estaciones de compresión de gas de Miraflores, Puente Guillermo y Paratebueno.
- Se determinaron las fallas más recurrentes a través del análisis histórico en el año 2019-2020. Dentro de las variables a solucionar se buscó reducir la gran acumulación de fallas por fracturas de mangueras, fugas de refrigerante y fisuras en el acople flexible del cooler que se presentaban de acuerdo con los históricos del sistema SAP en las estaciones. Por el contrario, sucesos como alarmas por ajustes de soportería en la línea botellas, alta o baja temperatura o cambios de presión en el motor son menos notorios, lo cual se debería solucionar con tan solo la aplicación del mantenimiento preventivo de los compresores prevista en los planes de cada estación.
- Se estableció un stock de repuestos críticos requeridos en las estaciones para generar una mayor confiabilidad operativa. Para ello, se propone la utilización de stock de seguridad de acuerdo con los consumos históricos; para evitar atrasos por la cadena logística y administrativa que se realiza cuando se solicita un repuesto por necesidad y con esto reducir tiempos de no disponibilidad de la máquina y afectación a la operación del transporte de gas.. Dentro de los hallazgos, se observó que la metodología de repuestos llevada (metodología de solicitud a necesidad y no de stock de seguridad) simplemente funcionaba porque en este caso no representaba paradas de la estación completa, pero esto depende meramente del azar y no de la seguridad. Para la estación de Paratebueno, se observa que los stocks de seguridad mayormente deben estar enfocados a Swagelok (conectores, tubing, válvulas y racores). Mientras, para las estaciones de Miraflores,

Puente Guillermo se observa que el stock de seguridad está enfocado en baterías, elementos filtrantes, y lubricantes.

- Se propusieron a los planes de mantenimiento actuales que permitan una mayor eficiencia en la operación con el plan de mantenimiento preventivo para las unidades de compresión. Ya que, su correcta implementación no solo va de la mano con los demás planes de implementación, sino que su aplicación no concierne nuevas inversiones en materiales o personal.

BIBLIOGRAFÍA

1. CUADROS P. JUAN F. Diseño de una estación reductora de presión (city gate) de gas natural procedente de Camisea. Universidad Católica de Santa María (2014). Disponible en:
https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_39b9b6069ee0d23c6170ef9b72eda7d9
2. PALACIO GONZÁLEZ S. A., SEPÚLVEDA VÁSQUEZ S.A., «Estudio de prefactibilidad para la implementación del programa mejorado de mantenimiento preventivo de las estaciones reguladoras en la Empresa Gas Natural Fenosa en Bogotá,» Institución Universitaria Pascual Bravo. Ingeniería Mecánica Y Afines. Ingeniería Mecánica Industrial. Medellín. 2015.
3. ORELLANA F. A. Implementación de plan de mantenimiento basado en condición en equipos de GNL Quintero. Pontificia Universidad Católica De Valparaíso. Facultad De Ingeniería. Escuela De Ingeniería Mecánica(2016). Disponible en; http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-0500/UCC0867_01.pdf
4. SUARÉZ, P. Plan de mantenimiento preventivo en la planta de regulación de gas natural de la empresa Proviservicios S.A. ESP. Universidad Antonio Nariño. Cúcuta 2021.
5. H. A. Sepúlveda, «Estudio de prefactibilidad para la implementación del programa mejorado de mantenimiento preventivo de las estaciones reguladoras en la Empresa Gas Natural Fenosa en Bogotá,» Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia, 2019.

6. SUAREZ, JUAN. 2007. Mantenimiento Mecánico De Maquinas. Caracas: Universidad De Caracas, 2007. Pág. 15. 10.
7. GONZALES, JUAN. 2005. Gestión Y Logística Del Mantenimiento. San Vicente : Club Gama, 2005.—. 2005. Gestión Y Logística Del Mantenimiento. San Vicente :Club Gama, 2005.
8. BERNARDO, MANUEL. 2010. Mantenimiento Enfocado En La Producción. Bogota : Grupo Aliaga, 2010.
9. CRESPO, ANDRES. 2012. Ingeniería De Mantenimiento Y Fiabilidad En La Gestión De Un Activo. Sevilla : Ingeitan, 2012.
10. CACERES, BRANDO. 2004. Como Incrementar La Competitividad Mediante Estrategias. Bogota : Aciem, 2004.
11. MALDONADO VILLAVICENCIO, H., & SIGUENZA MALDONADO , L. Propuesta de un plan de mantenimiento para maquinaria pesada de la empresa minera. . (2012) Dynasty Mining del cantón Portovelo. Obtenido de Web :<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1759/12/UPS-CT002328.pdf>
12. HUERTA MENDOZA Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Venezuela: Revista Mantener # 6 (2000) Pag 15
13. HUERTA MENDOZA Rosendo. El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional. Venezuela: Revista Mantener # 6 (2000) Pag 17
14. BROWN MICHAEL. Managing Maintenance Storerooms. Audel. Wiley Publishing Inc. 2004

15. CONTRERAS JOSE Y PARRA CARLOS. Propuesta De Un Método De Priorización De Inventarios En El Área Del Mantenimiento Denominado: Pr-C&V (Priorización De Repuestos Por Criticidad Y Valor Económico). 2013