

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM PARA EL
SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO DE UN MOTOCOMPRESOR
INGERSOLL RAND 12SVG**

**WILLIAM RICARDO GONZALEZ ROBLES
RUDIN HERIBERTO SANCHEZ QUINTERO
PABLO CESAR OSPINA GARCIA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2015

**DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM PARA EL
SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO DE UN MOTOCOMPRESOR
INGERSOLL RAND 12SVG**

**WILLIAM RICARDO GONZALEZ ROBLES
RUDIN HERIBERTO SANCHEZ QUINTERO
PABLO CESAR OSPINA GARCIA**

**Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: OSCAR IVAN HERRERA ANDRADES
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2015

DEDICATORIA

WILLIAM RICARDO

Dedico este trabajo a mi mama por su paciencia y apoyo durante toda mi vida,
A mi esposa por haber compartido momentos tan felices,
A todos mis tíos que siempre estuvieron apoyándonos cuando los necesitamos,
Mis hermanos por haber compartido una vida al lado de ustedes,
Familiares y allegados que de una u otra manera hicieron posible mi estudio,
Amigos que conocí en la universidad con los que compartí momentos de alegría,
Pero principalmente este logro es para Dios y a mi papa Q.D.E.P

RUDIN SANCHEZ

Con el corazón lleno de alegría doy gracias a Dios por darme la oportunidad de poder realizar este sueño y por llenarme de tantas bendiciones, se lo dedico y agradezco a mi esposa ALEIDA NOGUERA PUERTO por estar a mi lado siempre apoyándome a mi hijo RUDIN DANIEL, a mi madre EDITH YANETH y padre HENRY SANCHEZ por todo su amor y respaldo siempre, a mis hermanas KARITO, VIVI, y compañeros de estudio PABLO y WILLIAM sin ustedes no sería posible este logro gracias totales.

PABLO CESAR

A Dios gracias por bendecirme para lograr cumplir mis metas y hacer realidad mis sueños; a mi esposa Clara, mis hijos Vale y Jorge por su comprensión y apoyo, a mis padres que siempre han estado ahí cuando más los he necesitado.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	17
1. MARCO ORGANIZACIONAL	18
1.1 ECOPETROL S.A	18
1.2 ORGANIGRAMA.....	20
1.3 CAMPO PROVINCIA.....	21
1.3.1 Ubicación geográfica.....	21
1.4 PROCESO DE COMPRESIÓN	22
2. OBJETIVOS.....	24
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	24
3. JUSTIFICACIÓN	25
3.1 MARCO LEGAL.....	26
4. MARCO TEORICO.....	27
4.1 GAS NATURAL	27
4.1.1 Tipos de gas.....	27
4.2 SISTEMA DE COMPRESORES	28
4.2.1 Compresor reciprocantes.....	29
4.2.2 Compresor rotativo.....	32
4.3 NORMA ISO 14224	33
4.3.1 Taxonomía.....	35
4.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM.....	37
5. CONTEXTO OPERACIONAL	42
5.1 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR IR 12SVG 04LP.....	42
5.1.1 Sistema gas combustible.....	44
5.1.2 Sistema de ignición	47
5.1.3 Sistema control temperature.....	52
5.1.4 Sistema control instrumentos motocompresor.....	56

5.2 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR IR 12SVG 03LP.....	64
5.2.1 Sistema gas combustible.....	64
5.2.2 Sistema ignición	65
5.2.3 Sistema control de temperatura.....	67
5.2.4 Sistema control instrumentos motocompresor.....	69
5.3 COMPARACIÓN SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO – NEUMATICO	74
6. ANALISIS FUNCIONAL.....	76
6.1 SISTEMA DE IGNICIÓN.....	76
6.2 SISTEMA DE ARRANQUE	77
6.3 DETECCIÓN DE FALLAS.....	79
6.3.1 Detonaciones	79
6.3.2 Presencia de líquidos en los cilindros.	80
6.3.3 Vibración	80
7. ANALISIS ECONOMICO	81
7.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	81
7.2 COSTOS POR NO DISPONIBILIDAD	82
7.2.1 Análisis	89
7.3 COSTOS POR INSTALACIÓN.....	91
7.4 COSTOS POR REPARACIÓN.....	94
8. ANALISIS DE CRITICIDAD	98
10. ANALISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO DE FALLA EN LOS ITEMS MANTENIBLES DEL SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR 04LP	106
10.1 FUNCIONES	106
10.2 FALLA FUNCIONAL	106
10.3 MODO DE FALLA	107
10.4 EFECTO DE FALLA	107
10.5 CONSECUENCIAS.....	108
10.6 RESULTADO DE FMEA DE ITEMS MANTENIBLES Y TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS	108
10.6.1 Sistema de Ignición	109
10.6.2 Sistema de Gas Combustible.....	111

10.6.3 Sistema Señales de Temperatura	112
10.6.4 Sistema Señales de Presión.....	113
10.6.5 Sistema Señales de nivel	114
10.6.6 Sistema Señales de vibración.....	115
10.6.7 Panel de Control.....	116
11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	128
BIBLIOGRAFIA.....	130

LISTA DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1. TAXONOMÍA ISO 14224	37
TABLA 2. SEÑALES DSM	55
TABLA 3. DESCRIPCIÓN SEÑALES DE-3000	63
TABLA 4. COMPARACIÓN SEÑALES SISTEMAS DE CONTROL MOTOCOMPRESOR IR 12SVG	75
TABLA 5. CALCULO DE COSTOS ASOCIADOS A NO DISPONIBILIDAD DE MOTOCOMPRESOR 04LP	91
TABLA 6. APL COMPONENTES SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO	92
TABLA 7. RESUMEN COSTOS POR INSTALACIÓN	94
TABLA 8. REPUESTOS MÍNIMOS ESENCIALES A REEMPLAZAR POR DAÑO EN CIGÜEÑAL	95
TABLA 9. RESUMEN COSTOS POR INSTALACIÓN	96
TABLA 10. DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD MOTOCOMPRESOR 04LP	96
TABLA 11. COMPARACIÓN COSTOS POR INSTALACIÓN Y REPARACIÓN.	97
TABLA 12. CRITERIOS DE CRITICIDAD	100
TABLA 13. RESULTADO DE CRITICIDAD DE LOS ÍTEMS MANTENIBLES EN EL SISTEMA DE CONTROL	105
TABLA 14. FUNCIONES SISTEMA DE IGNICIÓN	109
TABLA 15. MODO DE FALLA SISTEMA DE IGNICIÓN	109
TABLA 16. FUNCIONES SISTEMA GAS COMBUSTIBLE	111
TABLA 17. MODO DE FALLA SISTEMA GAS COMBUSTIBLE	111
TABLA 18. FUNCIONES SISTEMA SEÑALES DE TEMPERATURA	112
TABLA 19. MODO DE FALLA SISTEMA SEÑALES DE TEMPERATURA	112
TABLA 20. FUNCIONES SISTEMA SEÑALES DE PRESIÓN	113
TABLA 21. MODO DE FALLA SISTEMA SEÑALES DE PRESIÓN	113
TABLA 22. FUNCIONES SISTEMA SEÑALES DE NIVEL	114
TABLA 23. MODO DE FALLA SISTEMA SEÑALES DE NIVEL	114
TABLA 24. FUNCIONES SISTEMA SEÑALES DE VIBRACIÓN	115
TABLA 25. MODO DE FALLA SISTEMA SEÑALES DE VIBRACIÓN	116
TABLA 26. FUNCIONES PANEL DE CONTROL	116
TABLA 27. MODOS DE FALLA PANEL DE CONTROL	117
TABLA 28. EVALUACIÓN DEL RIESGO POR SISTEMA	118
TABLA 29. SISTEMA DE IGNICIÓN FMEA Y RCM	119
TABLA 30. SISTEMA GAS COMBUSTIBLE FMEA Y RCM	122
TABLA 31. SISTEMA SEÑALES DE TEMPERATURA FMEA Y RCM	122
TABLA 32. SISTEMA SEÑALES DE PRESIÓN FMEA Y RCM	123
TABLA 33. SISTEMA SEÑALES DE NIVEL FMEA Y RCM	124
TABLA 34. SISTEMA SEÑALES DE VIBRACIÓN FMEA Y RCM	126
TABLA 35. PANEL DE CONTROL FMEA Y RCM	127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. ORGANIGRAMA ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL ECOPETROL S.A	20
FIGURA 2. UBICACIÓN GEOGRÁFICA CAMPO PROVINCIA	21
FIGURA 3. DIAGRAMA ESTACIÓN COMPRESORA SANTOS	22
FIGURA 4. CLASIFICACIÓN DE LOS COMPRESORES.....	29
FIGURA 5. COMPONENTES DE LOS COMPRESORES RECIPROCANES.....	31
FIGURA 6. TAXONOMIA PROPUESTA POR ISO 14224	36
FIGURA 7. TAXONOMÍA DEL MOTOCOMPRESOR	43
FIGURA 8. FRONTERA DEL SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR 12 SVG	44
FIGURA 9. SCRUBBER DE GAS COMBUSTIBLE ESTACIÓN SANTOS	45
FIGURA 10. REGULADOR DE PRIMER (MARCA SENSUS MODELO 121-12) Y SEGUNDO CORTE (MARCA FISHER MODELO S-201M), CONEXIÓN 2" NPT HEMBRA	46
FIGURA 11. PLANO DE INSTALACIÓN BÁSICO DEL SISTEMA DE IGNICIÓN CON CPU-95.....	48
FIGURA 12. ANUNCIADOR CPU-95.....	49
FIGURA 13. CPU-95EVS.....	50
FIGURA 14. SENSOR CUENTA DIENTES, SENSOR EFECTO HALL, SENSOR RESET, ARNES	51
FIGURA 15. TRANSFORMADOR DE IGNICIÓN, CABLE PRIMARIO, CABLE SECUNDARIO Y BUJÍA	52
FIGURA 16. MONITOR DE TEMPERATURAS DSM.....	53
FIGURA 17. TRANSDUCTOR DE PRESIÓN 0-100 PSI	56
FIGURA 18. SWITCH DE NIVEL DE ACEITE MARCA MURPHY MODELO LMX-301.....	58
FIGURA 19. SWITCH DE NIVEL AGUA.....	58
FIGURA 20. SWITCH DE NIVEL SCRUBBER	59
FIGURA 21. SWITCH DE VIBRACIÓN ENFRIADOR.....	60
FIGURA 22. SWITCH DE VIBRACIÓN MOTOCOMPRESOR.....	60
FIGURA 23. SWITCH VIBRACIÓN VENTILADOR AUXILIAR.....	61
FIGURA 24. SWITCH NO FLUJO.....	62
FIGURA 25. TESTIGOS PANEL DE CONTROL	64
FIGURA 26. VÁLVULA DE CORTE NEUMÁTICA, REGULADOR PRIMER CORTE, REGULADOR SEGUNDO CORTE.....	65
FIGURA 27. MAGNETO ALTRONIC	66
FIGURA 28. BOBINA, CABLEADO PRIMARIO, CABLEADO SECUNDARIO Y BUJIA	66
FIGURA 29. DIAGRAMA CONEXIÓN MAGNETO	67
FIGURA 30. SWITCH TEMPERATURA DESCARGA CILINDROS COMPRESORES, MARCA AMOT MODELO 4075	68
FIGURA 31. SWITCH TEMPERATURA LÍNEA AGUA MOTOR, MARCA AMOT MODELO 2230	68
FIGURA 32. SWITCHES DE PRESIÓN ACEITE EN CARTER Y DESCARGA CILINDRO TERCERA ETAPA	69
FIGURA 33. SWITCH NIVEL ACEITE CARTER MOTOR.....	70
FIGURA 34. SWITCHES NIVEL SCRUBBER ETAPAS COMPRESIÓN	71
FIGURA 35. SWITCH DE VIBRACIÓN ENFRIADOR.....	72
FIGURA 36. SWITCH DE VIBRACIÓN MOTOCOMPRESOR.....	72
FIGURA 37. SWITCH DE VIBRACIÓN VENTILADOR AUXILIAR.....	73
FIGURA 38. SWITCH SOBREVELOCIDAD.....	74

FIGURA 39. PANEL DE CONTROL MOTOCOMPRESOR 03LP	78
FIGURA 40. PANEL DE CONTROL MOTOCOMPRESOR 04LP	78
FIGURA 41. DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2012	82
FIGURA 42. MTTF Y MTTR MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2012.....	83
FIGURA 43. DIAGRAMA DE PARETO MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2012	84
FIGURA 44. DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2013	85
FIGURA 45. MTTF Y MTTR MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2013.....	86
FIGURA 46. DIAGRAMA DE PARETO MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2013	86
FIGURA 47. DISPONIBILIDAD Y CONFIABILIDAD MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2014	87
FIGURA 48. MTTF Y MTTR MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2014.....	88
FIGURA 49. DIAGRAMA DE PARETO MOTOCOMPRESOR 04LP AÑO 2014	89
FIGURA 50. PDT OVERHAUL MOTOCOMPRESOR 04LP	93
FIGURA 51. FLUJOGRAMA DE EVALUACIÓN DE CRITICIDAD.....	99
FIGURA 52. TABLA DE RIESGOS ECOPETROL	118

RESUMEN

TITULO: DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO RCM PARA EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO DE UN MOTOCOMPRESOR INGERSOLL RAND 12SVG *

AUTORES: William Gonzalez, Pablo Ospina, Rudin Sanchez **

PALABRAS CLAVES: RCM, Motocompresor, Sistema de Control

Los compresores son máquinas que tienen la capacidad de elevar la presión del gas que manejan. Existen diferentes tipos de compresores según la aplicación requerida, pero el utilizado en la industria para la compresión de gas es el compresor reciprocante. Los compresores reciprocantes son un tipo de compresor de desplazamiento positivo en los cuales sucesivas cantidades de gas quedan atrapadas dentro de un espacio cerrado y, mediante un pistón, se eleva su presión hasta que se llega a un valor de la misma que consigue abrir las válvulas de descarga.

El sistema de control de cualquier equipo constituye una parte fundamental para asegurar que este funcione de acuerdo a los parámetros establecidos operacionalmente. Además, permite el monitoreo constante de las variables de la máquina y establece valores máximos y mínimos de niveles permitidos por diseño y/o seguridad, con el fin de evitar paradas imprevistas que provoquen lucro cesante por diferida de producción y costos asociados al recurso humano y logístico que son utilizados para las atenciones y correcciones de las fallas. Así como también, daños al medio ambiente y personas.

En nuestro estudio nos enfocaremos en los motocompresores 03LP y 04LP (motocompresores IR 12SVG gas baja presión 25PSI) de la estación Santos, las cuales comprimen entre 2.9 y 3.2 MPCD (millones de pies cúbicos por día). Fundamentalmente posee el diseño de una estrategia de mantenimiento para el sistema de control electrónico de un motocompresor Ingersoll Rand 12SVG basada en la aplicación de la filosofía RCM y se analizan los sistemas de control neumático y electrónico respectivamente, para realizar un análisis funcional y económico de los beneficios de implementar un sistema de control electrónico.

* Monografía

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.
Director Oscar Herrera Andrade

SUMMARY

TITLE: RCM STRATEGY DESIGN FOR MAINTENANCE ELECTRONIC CONTROL SYSTEM OF A COMPRESSOR INGERSOLL RAND 12SVG *

AUTHORS: William Gonzalez, Pablo Ospina, Rudin Sanchez **

KEYWORDS: RCM, Compressor, Control System

Compressors are machines that have the ability to raise the pressure of gas handling. Different types of compressors according to the required application, but used in industry for gas compression is the reciprocating compressor. Reciprocating compressors are a type of positive displacement compressor in which successive quantities of gas are trapped in an enclosed space, by a piston, the pressure rises until it reaches a value of it getting open valves discharge.

The control system of any equipment is a key part to ensure that this works operationally according to established parameters. It also allows constant monitoring of the variables of the machine and set maximum and minimum levels allowed by design and / or safety in order to avoid unplanned downtime causing lost profits and deferred production costs associated with human resources and logistics that are used for the care and correction of faults. As well as damage to the environment and people.

In our study we will focus on motocompresores 03LP and 04LP (IR 12SVG gas compressors low pressure 25psi) of the holy season, which compress 2.9 and 3.2 MCFD (million cubic feet per day). Basically has the design of a maintenance strategy for the electronic control of a compressor Ingersoll Rand 12SVG, based on the application of the RCM philosophy and pneumatic systems and electronic control are analyzed respectively, for a functional and economic analysis the benefits of implementing an electronic control.

* Monograph

** School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director Oscar Herrera Andrade.

INTRODUCCIÓN

Actualmente en Ecopetrol S.A, la vicepresidencia de Desarrollo y Producción está dividida en cuatro regionales; regional Caribe Pacifico, regional Orinoquia, regional Sur y regional Central. La regional Central (VRC) de Ecopetrol S.A, está conformada por 28 campos petroleros ubicados en 7 departamentos del Magdalena Medio y el Catatumbo, uno de estos es el Campo Provincia. Localizado en el municipio de Sabana de Torres, Santander, está conformado por las estaciones suerte, bonanza, san roque, tisquirama y santos. En esta última se comprime el gas de los pozos santos y conde por medio de 9 compresores de gas.

Los compresores son máquinas que tienen la capacidad de elevar la presión del gas que manejan. Existen diferentes tipos de compresores según la aplicación requerida, pero el utilizado en la industria para la compresión de gas es el compresor reciprocante. Los compresores reciprocantes son un tipo de compresor de desplazamiento positivo en los cuales sucesivas cantidades de gas quedan atrapadas dentro de un espacio cerrado y, mediante un pistón, se eleva su presión hasta que se llega a un valor de la misma que consigue abrir las válvulas de descarga.

En nuestro estudio nos enfocaremos en los motocompresores 03LP y 04LP (motocompresores IR 12SVG gas baja presión 25PSI) de la estación santos, las cuales comprimen 2.9 y 3.2 MPCD (millones de pies cúbicos por día). En donde se analizará los sistemas de control electrónicos para su operación y una comparación económico-funcional de la implementación de esta con uno neumático.

1. MARCO ORGANIZACIONAL

1.1 ECOPETROL S.A

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos. La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá.

Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos.

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Escritura Pública número 4832 del 31 de octubre de 2005, otorgada en la Notaría Segunda del Circuito Notarial de Bogotá D.C., y aclarada por la Escritura Pública número 5773 del 23 de diciembre de 2005.

Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva Ecopetrol S.A., la Compañía se liberó de las funciones de Estado como

administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos).

Al día de hoy, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$15,4 billones registrada en 2011 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.¹

En Ecopetrol S.A, la dirección general de operaciones está dividida en cuatro vicepresidencias; vicepresidencia de refinación, vicepresidencia downstream, vicepresidencia logística/transporte y la vicepresidencia de desarrollo y producción. Esta última está dividida en cuatro regionales; regional Caribe Pacífico, regional Orinoquía, regional Sur y regional Central. La regional Central (VRC) de Ecopetrol S.A, La Regional Central de Ecopetrol está integrada por los negocios de producción presentes en los departamentos de: Antioquia, Arauca, Bolívar, Cesar, Boyacá, Santander y Norte de Santander, cuenta con un total de 38 campos de producción, la Refinería de Barrancabermeja, las redes de transporte y el Instituto Colombiano del Petróleo, ICP².

En el departamento de Santander está localizado Campo Provincia, en el municipio de Sabana de Torres, Santander, está conformado por las estaciones suerte, bonanza, san roque, tisquirama y santos. En esta última se comprime el gas de los pozos santos y conde por medio de 9 compresores de gas.

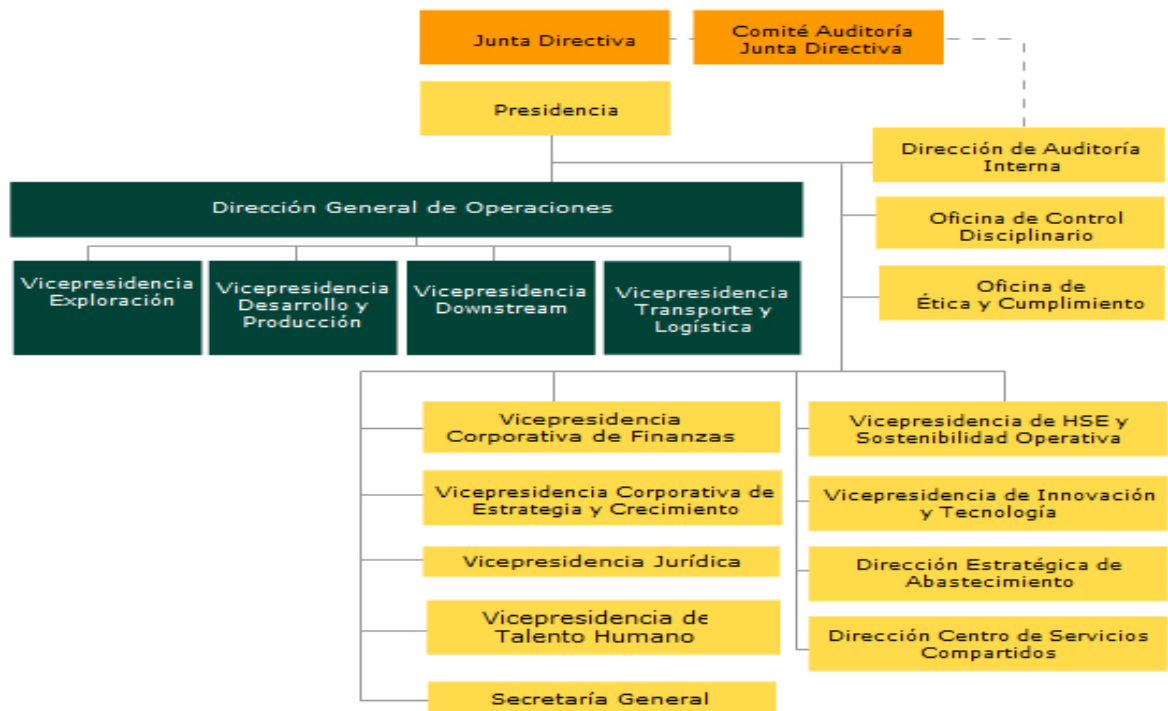
¹ Ecopetrol S.A. Acerca de Ecopetrol. Nuestra historia.

<http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia/>

² Cambios de estrategia en Ecopetrol. <http://elfrente.com.co/ahora/cambio-de-estrategias-en-ecopetrol/>

1.2 ORGANIGRAMA

Figura 1. Organigrama estructura organizacional Ecopetrol S.A



Fuente: Ecopetrol S.A. Estructura organizacional. Organigrama.
<http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional/organigrama/>

1.3 CAMPO PROVINCIA

1.3.1 Ubicación geográfica

Figura 2. Ubicación geográfica Campo Provincia



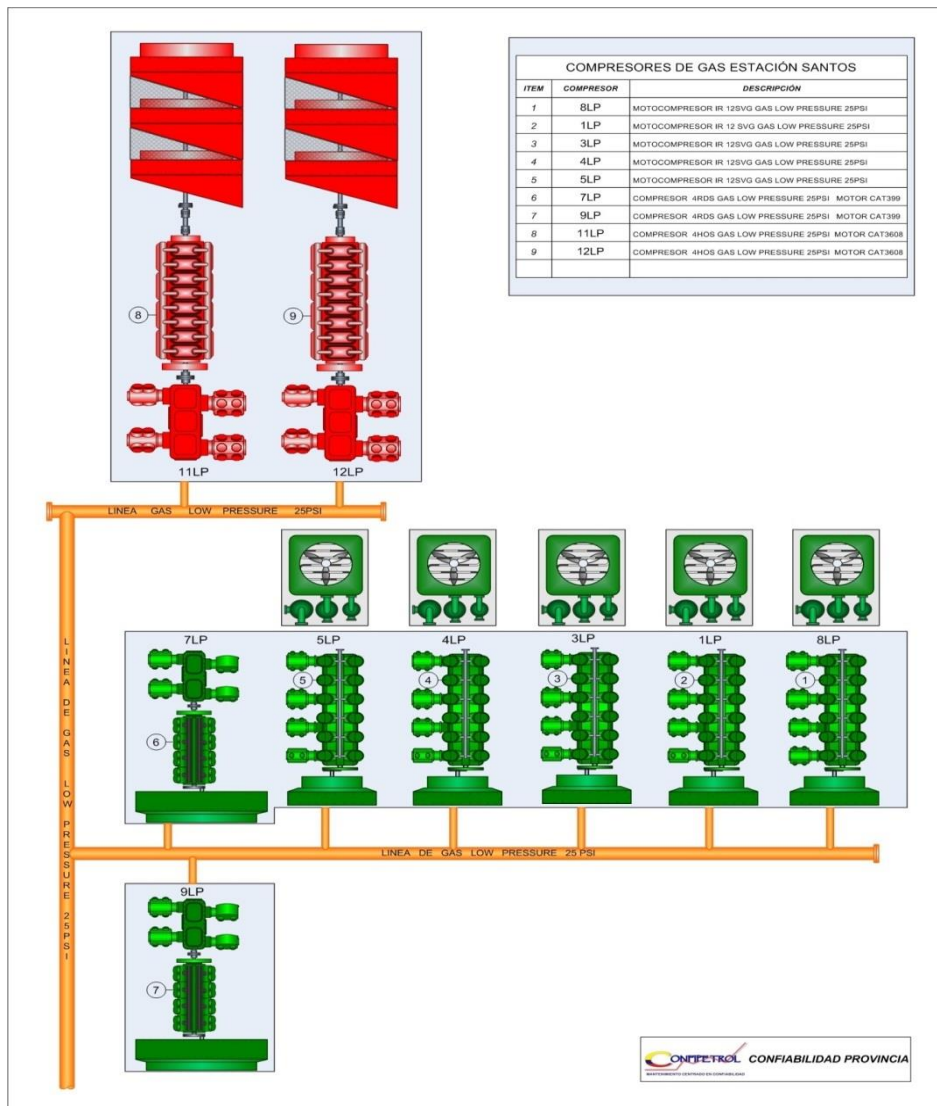
Fuente: Ecopetrol S.A. Información general. Gasoductos y campos de gas en Colombia.

http://www.ecopetrol.com.co/multimedias_gas/Mapa_gasoductos_campos_gas.pdf

1.4 PROCESO DE COMPRESIÓN

En la estación santos se comprime el gas natural por medio de cinco motocompresores IR 12SVG, dos compresores 4RDS motor CAT 399 y dos compresores 4HOS CAT 3608.

Figura 3. Diagrama estación compresora santos



Fuente: CONSORCIO CONFIPETROL. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de Torres, Santander)

El proceso de compresión en la estación Santos inicia con el gas extraído de los pozos productores, el cual es llevado a través de un colector (manifold) hasta los separadores de crudo/gas o bifásicos. Luego del proceso de separación, el gas es enviado a un depurador (scrubber) en donde se drenan líquidos y se controla la presión por medio de una válvula para que aguas abajo lleguen 25 psi a la succión de los compresores y lograr elevar la presión a 1000 psi.

Los motocompresores 12SVG tienen una capacidad de compresión de 2.92 MMSCFD, realizan el proceso de compresión en 3 etapas a una velocidad de trabajo 400RPM. El gas se comprime de la siguiente manera; en la línea de succión se tiene una presión de 25 psi, pasa por el “scrubber” de succión (separador de líquidos), entra a la primera etapa de compresión por la botella de succión, se comprime el gas en los cilindros 1 y 2, y descarga a una presión de 110 psi a una mayor temperatura por la reducción de su volumen, pasa por el enfriador y se convierte en la succión de la segunda etapa. Nuevamente se repite el proceso de separación, compresión, enfriamiento y descarga en la segunda etapa a 380 psi. Para completar el ciclo, el gas pasa por el cilindro de la tercera y última etapa, en esta etapa el gas es comprimido de 380 psi a 1000 psi completando el ciclo de compresión y el gas está listo para ser enviado a la planta de proceso para su tratamiento y posterior venta, y el restante se inyecta nuevamente a la formación (Gas lift).

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar una estrategia de mantenimiento para el sistema de control electrónico de un motocompresor Ingersoll Rand 12SVG basada en la aplicación de la filosofía RCM - Mantenimiento Centrada en Confiabilidad-.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Comparar los sistemas de control neumático y electrónico en los motocompresores a gas 12SVG.
- Realizar un análisis económico y funcional de los beneficios de implementar el sistema de control electrónico en los motocompresores a gas 12SVG.
- Realizar un análisis de criticidad de los componentes del sistema de control electrónico.
- Identificar los elementos que componen el sistema de control electrónico a los cuales se les va a aplicar la estrategia RCM y definir su funcionalidad.
- Aplicar una estrategia de mantenimiento centrada en confiabilidad -RCM- del sistema de control electrónico en los motocompresores 12SVG basada en la norma ISO 14224.

3. JUSTIFICACIÓN

El sistema de control de cualquier equipo constituye una parte fundamental para asegurar que este funcione de acuerdo a los parámetros establecidos operacionalmente. Además, permite el monitoreo constante de las variables de la máquina y establece valores máximos y mínimos de niveles permitidos por diseño y/o seguridad, con el fin de evitar paradas imprevistas que provoquen lucro cesante por diferida de producción y costos asociados al recurso humano y logístico que son utilizados para las atenciones y correcciones de las fallas. Así como también, daños al medio ambiente y personas.

Actualmente el sistema de control de las variables asociadas al compresor de gas 03LP de la estación santos, son de tipo neumático. En el mercado actual es difícil adquirir los repuestos necesarios para corregir alguna falla que se presente, aumentando la probabilidad de paradas que repercuten en los costos de producción. Al utilizar el sistema de control electrónico, se usan instrumentos más exactos y confiables con repuestos de fácil adquisición que proveen de más exactitud a la hora de sensar las diferentes variables en el equipo, como son temperatura, presión, nivel y velocidad de la máquina.

Las fallas asociadas a estos sistemas son los que aportan la mayor cantidad de paradas de las máquinas, por lo tanto, se propone el diseño de una estrategia de mantenimiento preventivo para el sistema de control electrónico bajo la filosofía RCM y de modo complementario un análisis comparativo entre las dos tecnologías (neumática – electrónica). Con lo anterior, se busca asegurar la operación del equipo de manera confiable, reducir la probabilidad de fallas y daños catastróficos.

3.1 MARCO LEGAL

- Estándar ISO 14224 Petroleum, petrochemical and natural gas industries -- Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment (Criterios para la recolección de datos de Confiabilidad y Mantenimiento para las áreas de perforación, producción, refinación transporte de petróleo y gas natural)
- Norma SAE JA1011_200908: Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance - RCM Processes (Criterios de Evaluación para Procesos de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM)
- Norma SAE JA1012_200201: A Guide to the Reliability-Centered Maintenance - RCM Standard (Guía para Mantenimiento Centrado en Confiabilidad – RCM Estándar)

4. MARCO TEORICO

4.1 GAS NATURAL

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos gaseosos livianos en estado gaseoso, se componen principalmente por metano y etano, también contiene otros elementos tales como propano, butanos, pentanos e hidrocarburos más pesados. El gas natural se encuentra al igual que el petróleo en yacimientos en el subsuelo. Puede ser asociado (gas mezclado con crudo) o libre. Las propiedades del gas tales como: composición, gravedad específica, peso molecular promedio y poder calorífico varían de un yacimiento a otro, las principales impurezas que puede contener la mezcla son vapor de agua, gas carbónico, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno y helio, entre otros.

4.1.1 Tipos de gas

Existen varios tipos de gas que depende de su composición:

- Húmedo o Rico
- Pobre o Seco
- Gas Dulce
- Acido o Agrio

4.1.1.1 Gas húmedo o rico

Contiene alto contenido de propano, butano y otros hidrocarburos que son licuables a temperatura y presión ambiente. Además, puede contener vapor de agua.

4.1.1.2 Gas pobre o seco

Contiene bajo contenido de propano , butano y otros hidrocarburos diferentes al metano y no son licuables a temperatura y presión ambiente. Además, no contiene vapor de agua.

4.1.1.3 Gas dulce

Tiene un contenido bajo de compuestos de azufre, especialmente sulfuro de hidrógeno. Lo anterior se realiza con la remoción de los compuestos mencionados por medio de un proceso de endulzamientos. Es poco corrosivo y toxico, ya que el H₂S es inferior a 10 ppm

4.1.1.4 Gas acido

Tiene un alto contenido de H₂S y CO₂, conocidos como compuestos amargos. Se consigue como en estado natural y es muy corrosivo y toxico.

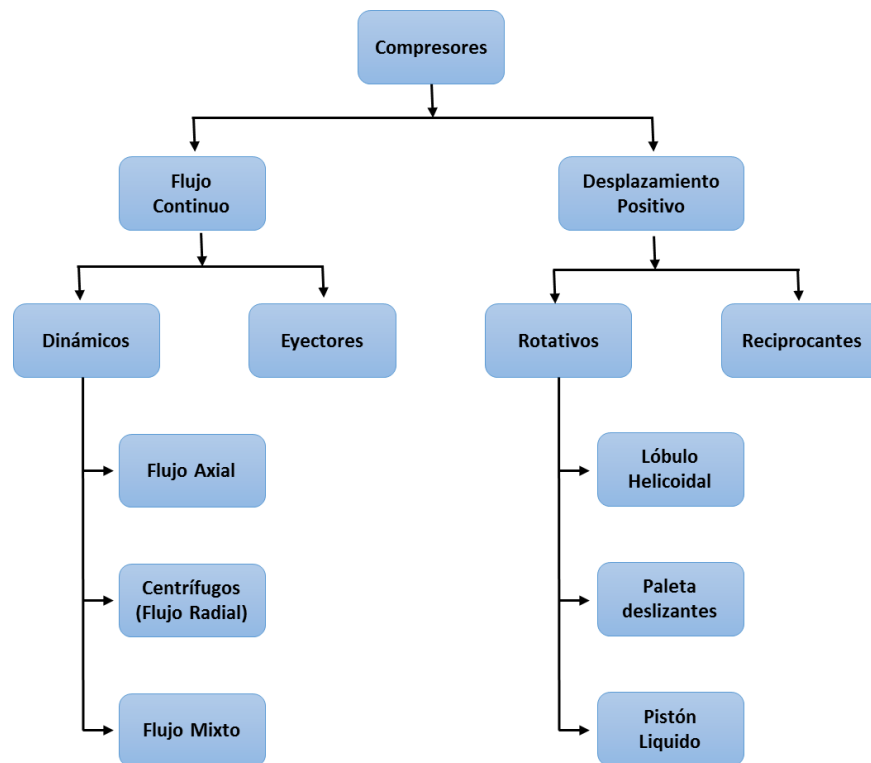
4.2 SISTEMA DE COMPRESORES

En la industria del petróleo el negocio del gas natural se ha convertido en uno de los más importantes a nivel mundial. Uno de los procesos más importantes es la compresión del gas natural a una presión más alta, este proceso se utiliza cuando se requiere su almacenamiento, transporte, reinyección del fluido en yacimientos con el fin de presionar el crudo a la superficie, procesos petroquímicos, consumo industrial o doméstico; en forma de materia prima o combustible, etc. Como es sabido, la compresión incrementa el nivel energético del gas, dicho aumento en los niveles de energía se logra mediante el trabajo que ejerce el compresor sobre el fluido.

Los compresores son máquinas rotativas capaces de impulsar gases de un punto a otro aumentando a su vez la presión, permitiendo el desplazamiento del fluido y su suministro a mayor presión. Los compresores utilizados para comprimir gas

natural son los de desplazamiento positivo, estos son máquinas en las cuales, volúmenes sucesivos de gas son acumulados dentro de un espacio cerrado donde por disminución de volumen son elevados a una presión mayor. En este grupo se encuentran los compresores recíprocos.

Figura 4. Clasificación de los compresores



4.2.1 Compresor recíprocos

Los compresores recíprocos operan mediante una reducción positiva de cierto volumen de gas atrapado dentro de un cilindro mediante un movimiento recíproco del pistón. La reducción en volumen origina un alza en la presión hasta que la misma alcanza la presión de descarga; y ocasiona el desplazamiento del fluido a través de la válvula de descarga del cilindro.

Los compresores recíprocos tienen diversas aplicaciones tanto en la industria petrolera como petroquímica, además se requiere su utilización en la refrigeración doméstica, comercial, transportada, o aire acondicionado.

Según la posición de los cilindros los compresores recíprocos se clasifican a su vez en:

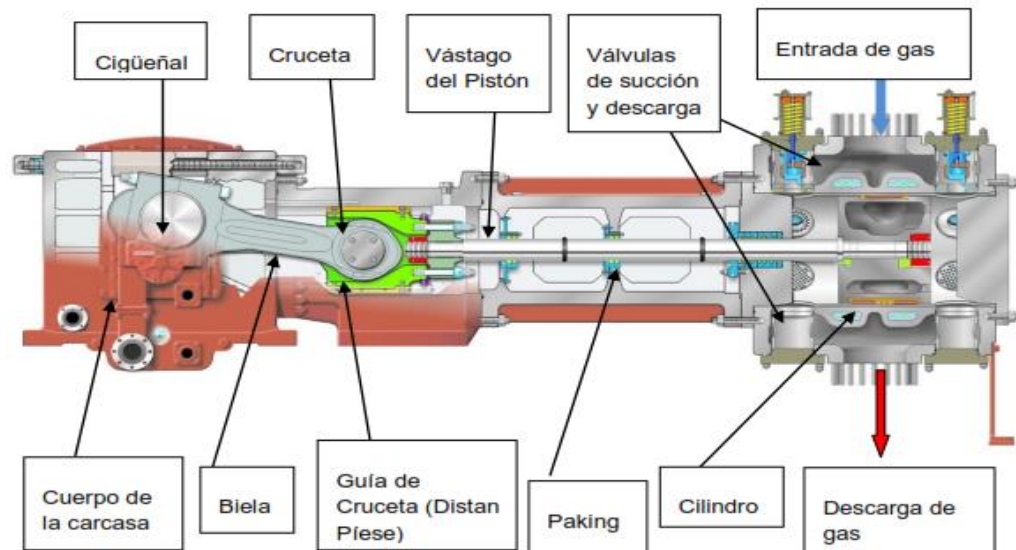
- Horizontales
- Verticales
- Opuestos
- Angulares

Según su diseño operacional los compresores pueden ser de:

- Acción sencilla
- Acción doble
- Una etapa
- Dos o más etapas

4.2.1.1 Componentes del compresor recíprocante

Figura 5. Componentes de los compresores recíprocantes



Fuente: VERA MUÑOZ, Hernando. Proyecto de grado Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM-Ecopetrol S.A. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga 2011.
<http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5972/2/138036.pdf>

Los compresores recíprocantes tienen los siguientes componentes:

- Bloque: El bloque es pesado y rígido y contiene todas las partes rotativas.
- Cilindro: Es una cámara de presión que contiene el gas en el ciclo de compresión. En cilindros de simple acción el gas entra en una sola dirección, a diferencia de los de doble acción que el gas entra en ambas direcciones del movimiento del pistón.
- Cigüeñal: Este rota sobre el eje axial y opera los pistones por medio de las bielas que los conectan. Además, este transmite la potencia de la máquina de combustión a la parte de compresión.

Asimismo, en compresores integrales, el cigüeñal lo comparten el compresor y la máquina de potencia.

- Biela: Esta conecta el cigüeñal y el pistón, y por medio de ella se transmite la energía rotativa del cigüeñal, al pistón en energía lineal para el proceso de compresión.
- Pistón: Este actúa como una barrera en movimiento en el cilindro de compresión.
- Válvula de Succión y Descarga: Permiten el paso del gas en la dirección deseada y lo bloquean el flujo en dirección contraria.

4.2.2 Compresor rotativo

Los compresores rotativos están formados por un estator cilíndrico, dentro del cual gira un rotor soportado en sus extremos por dos fondos. Este rotor, fijado excéntricamente, está provisto de ranuras en las que se alojan las láminas que se deslizan sobre la superficie interna del estator.

Las láminas del compresor forman una serie de celdillas, cuyos volúmenes van creciendo desde el orificio de aspiración y después disminuyen progresivamente hasta el orificio de impulsión. Cuando gira el rotor, las láminas se desplazan hacia el exterior, bajo la acción de la fuerza centrífuga y se ponen en contacto con la superficie interna del estator. Los compresores rotativos de una etapa, refrigerados por agua, resultan especialmente indicados para aplicaciones de presión media, vehiculando aire y gases de diversa composición, y permite asegurar un elevado rendimiento volumétrico en régimen de servicio continuo.

4.3 NORMA ISO 14224

La norma ISO 14224, la cual, establece niveles jerárquicos para tipos de equipos y sistemas para establecerlos en grupos y categorías. Además recomienda un mínimo de datos que deben ser recogidos.

En la industria existe una falta de herramientas para la gestión del mantenimiento y en general no se le da importancia a la medición de resultados, registros de datos sistemáticos y ordenados y lo anterior, no permite establecer mecanismos de comparación dentro de la industria. Por lo tanto, en la industria se preguntan lo siguiente:

- Como administrar la información?
- Que datos guardar?
- Como clasificarlos?
- Como relacionarlos?

Las ramas principales donde tales datos son recolectados y utilizados son:

- Recolección de datos de equipos.
- Datos de falla.
- Datos de mantenimiento.
- Consecuencias del mantenimiento y la confiabilidad.

ISO 14224, es una norma para la recolección de datos de mantenimiento y confiabilidad, cubre los detalles de los datos a ser recolectados y recogidos. Además, se puede decir que es la estandarización de la recolección de datos en un formato estándar, con el fin de facilitar el intercambio de información importante

entre inversionistas, fabricantes, plantas y contratistas. Lo anterior, nace de la necesidad de conocer datos de mantenimiento en todas las instalaciones.

Asimismo, proporciona una base amplia para la colección de datos de confiabilidad y mantenimiento, con datos en un formato estándar de los equipos durante el ciclo de vida útil de los mismos.

Cuando se implementa esta norma se garantiza calidad en los datos de mantenimiento y establece las directrices y principios claros para el empleo y manejo de datos de mantenimiento y confiabilidad.

Las siguientes son unas recomendaciones para la recolección de datos:

- No incluir elementos de único diseño o aquellos que tengan configuración única. Se debe incluir aquellos que tengan una denominación genérica según la clase.
- Excluir elementos conectados, excepto aquellos que se tienen que incluir por las especificaciones.
- Si una unidad impulsada y un controlador, utilizan en común una subunidad, se debe relacionar como una regla general las fallas y eventos de esta subunidad a la unidad impulsada.
- Incluir equipos de instrumentación únicamente cuando cumpla función de monitoreo o control, para una unidad solamente y/o este físicamente en el equipo.

Cuando se hace la pregunta ¿Causa de la falla?, la respuesta esta identificar un evento inicial que pudo generar un fracaso total. Estas fallas se dividen en:

- Causas por diseño.
- Fabricación
- Errores de operación

- Errores relacionados a la gestión del activo.
- Otros.

Y con respecto a los modos de falla se puede dividir en los siguientes tres ítems:

- La función deseada no se logra.
- La función específica perdida o fuera de los límites de operación.
- Una indicación de falla se observa, pero no hay impacto inmediato y crítico en función del equipo en la unidad.

Con la aplicación de la presente norma impacta positivamente en los siguientes ítems:

- Aspectos económicos.
- Aspectos generales.
- Aspectos en la seguridad y el medio ambiente.

4.3.1 Taxonomía

La norma ISO 14224, propone una taxonomía en una estructura jerárquica de nueve niveles, donde los cinco (5) primeros corresponden a Uso y Localización y los cuatro (4) últimos conciernen al equipo, en la Figura 6 se observa la taxonomía propuesta.

Figura 6. Taxonomía propuesta por ISO 14224



Fuente: ISO 14224

Tabla 1. Taxonomía ISO 14224

Categorial Principal	Nivel Taxonomía	Jerarquía Taxonomía	Definición
Datos de Uso / Localización	1	Industria	Tipo de Industria
	2	Categoría del Negocio	Tipo de Negocio
	3	Categoría de Instalación	Tipo de Facilidad
	4	Categoría de Planta / Unidad	Tipo de Planta o Unidad
	5	Sección / Sistema	Sección / Sistema principal de la planta
Subdivisión del equipo	6	Clase / Unidad Equipo	Clase de equipos similares.
	7	Subunidad	Un subsistema de necesario para la unidad del equipo para la función
	8	Item / Componente Mantenable	Grupo de partes de la unidad que comúnmente son mantenidas
	9	Parte	Una pieza del equipo

Fuente: ISO 14224

4.4 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

El mantenimiento centrado en confiabilidad -RCM- es una estrategia de mantenimiento que es utilizada para determinar qué actividades se deben realizar para asegurar que el sistema que se analiza, sea capaz de cumplir las funciones de manera continua para la cual fue diseñado. La filosofía RCM se basa en un sistema de mejoramiento, la cual tiene como base mantener la relación costo efectividad, es decir, maneja el riesgo de la falla funcional de un sistema de una manera rentable. Otra forma de explicar lo anterior, RCM tiene un enfoque sistemático para definir un programa de mantenimiento controlando la relación

costo-efectividad mientras se preserva las funciones críticas del volumen de control.

La metodología RCM fue desarrollada e implementada inicialmente en la industria de la aviación y luego se adoptó ampliamente en otros tipos de industrias y debido a su acogimiento en otros sectores, se han establecido desde los inicios de su desarrollo hasta el presente, una gran cantidad de estándares y guías para la implementación de esta estrategia. Cabe traer a notación la definición dada por IEC 60300-3-11 para RCM el cual establece lo siguiente “enfoque sistemático para la identificación de tareas de mantenimiento preventivas eficaces y eficientes de los activos, de acuerdo con un conjunto específico de procedimientos. Y asimismo, establecer los intervalos óptimos entre las tareas de mantenimiento”.

El objetivo principal del RCM se enfoca en el mantenimiento preventivo adecuado para los modos de falla específicos de los activos analizados. Por otra parte, los resultados del análisis permiten establecer tareas de mantenimiento, inventario óptimo de repuesto, modificaciones o rediseños, protocolos de mantenimiento y formación del personal, entre otras.

Una industria que tenga una carga trabajo de mantenimiento correctivo – reactivo entre el 20 % y el 25 %, puede obtener una buenos beneficios al implementar RCM como estrategia de mantenimiento.

Para el desarrollo de un buen análisis RCM se debe responder las siguientes preguntas:

- Cuáles son las funciones del sistema y las normas asociadas?
- Como puede fallar el sistema para cumplir estas funciones?
- Que causa una falla funcional?
- Que pasa cuando ocurre una falla?

- Cuáles serían las consecuencias cuando ocurre la falla?
- Que se puede hacer para detectar y prevenir la falla?
- Que debería hacer cuando la tarea de mantenimiento proactiva no se puede establecer?.

El proceso de análisis RCM clasifica las consecuencias de la falla en los grupos listados abajo y con ellas, se ayuda a priorizar los modos de falla. Lo anterior permite estar en concordancia con el objetivo fundamental de mantener la relación costo-efectividad y así, enfocar los recursos a las tareas de mayor prioridad.

- Consecuencias de fallas ocultas.
- Consecuencias de seguridad y ambiente.
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales.

Los objetivos de un análisis de RCM son:

- Identificar las tareas de mantenimiento efectivas de acuerdo a prioridades.
- Recolectar información para la mejorar el diseño de elementos poco confiables.
- Evaluar estas tareas con un análisis de costo-beneficio.
- Preparar un plan para ejecutar las tareas de mantenimiento identificadas a intervalos óptimos.

Algunos de los principios de RCM son los siguientes:

- RCM se enfoca en el sistema o equipo.
- Importancia del criterio de seguridad y económico.

- Orientado a la función.
- Reconoce las limitaciones de diseño.
- Centrado en confiabilidad.
- Define como falla una condición insatisfactoria.
- Es un sistema activo.
- Contempla los tres tipos de mantenimiento (Correctivo, preventivo y basado en condición).
- Tareas tienen que ser efectivas.
- Utiliza un árbol lógico de decisión para las tareas de mantenimiento.
- Las tareas deben ser aplicables o ejecutables.

Entre los estándares y guías existen unas pequeñas diferencias en los pasos o actividades propuestos para el desarrollo del análisis RCM. Según Marvin Rausand³ recomienda los siguientes pasos:

- Preparación de estudio o análisis.
- Selección y definición del sistema.
- Análisis de Falla Funcional (FFA).
- Selección de elementos críticos.
- Recolección de datos y análisis.

³ K. A. H. Kobbacy, D. N. P. Murthy, J. E. Boylan, and A. A. Syntetos, "Complex System Maintenance Handbook," in Complex System Maintenance Handbook, 2008, pp. 479–506.

- Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMEA).
- Selección de actividades de mantenimiento.
- Determinar los intervalos de mantenimiento.
- Análisis de comparación de mantenimiento preventivo.
- Tratamiento de elementos no críticos.
- Implementación.
- Recolección de datos en servicio y actualización.

La implementación de RCM permite elaborar un programa de mantenimiento óptimo, desarrollado en base a una estrategia efectiva para la optimización de los esfuerzos de mantenimiento, considerando la eficiencia operacional y la relación costo-efectividad. Asimismo busca mantener la funcionalidad del sistema al costo más bajo sin olvidar los criterios de seguridad y ambiente y esto se puede percibir en ahorro en dinero, cambio de mantenimiento basado en tiempo a basado en condición, reducción de inventarios, mejora de la seguridad y aspectos ambientales, reducción de carga de trabajo y mejora del rendimiento de la operación, entre otras.

5. CONTEXTO OPERACIONAL

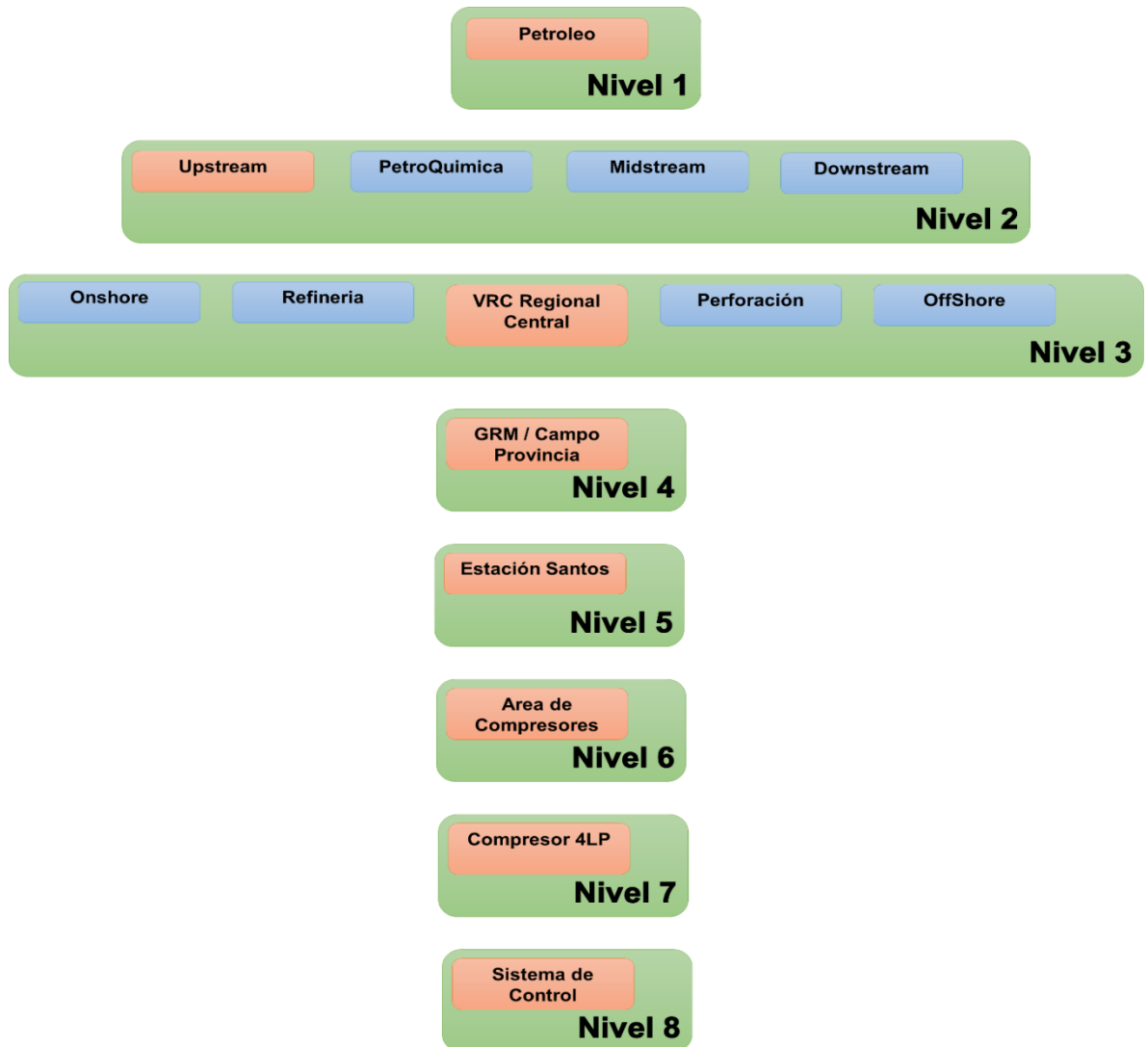
En las industrias para garantizar la confiabilidad de los equipos es necesario controlar y monitorear las variables asociadas y así lograr visualizar o detectar cualquier anomalía que se presente, evitando fallas y retrasos en los procesos. Cada sistema de control tiene unas variables asociadas, para nuestro caso, en el motocompresor las variables a analizar son la presión, el nivel, la temperatura, la velocidad y la vibración. Cada variable tiene su propia característica, independientemente del componente al que este asociado, estas características son muy útiles a la hora de ajustar los valores a los cuales se producirá una alarma o una parada inesperada en el equipo.

Al visualizar los valores de trabajo de cada una de las variables se puede saber con certeza que es lo que está sucediendo en el equipo, si su funcionamiento es adecuado y sobre todo si las condiciones operativas están dentro de los rangos de operación normales.

5.1 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR IR 12SVG 04LP.

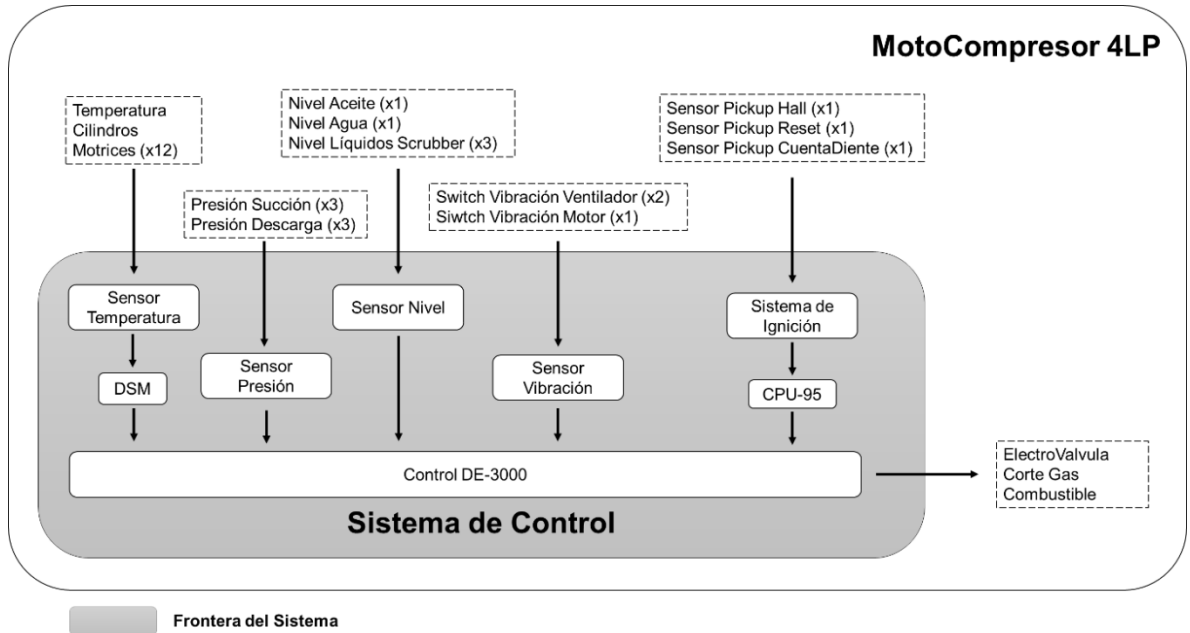
Según ISO 14224, la cual determina una jerarquía taxonómica, con el fin de poder realizar comparaciones de equipos con funcionalidad similar en la industria, se propone para el motocompresor 04LP ubicado en la estación Santos una descripción de la siguiente manera:

Figura 7. Taxonomía del motocompresor



Asimismo, la ISO 14224 propone delimitar el sistema con una frontera de análisis, por lo tanto se propone el siguiente diagrama:

Figura 8. Frontera del sistema de control del motocompresor 12 SVG



A continuación se describe el funcionamiento de los sistemas y señales de la frontera del sistema:

5.1.1 Sistema gas combustible

El gas suministro que llega al motocompresor para la combustión, proviene del “scrubber” general de gas combustible de la estación.

Figura 9. Scrubber de gas combustible estación santos



El sistema de gas combustible se compone de los siguientes instrumentos; regulador de primer corte (alta presión, 60psi-6psi), regulador segundo corte (baja presión, 6psi-entre 3.5 y 7 inH₂o) y electroválvula (válvula de corte, 24VDC).

Figura 10. Regulador de primer (marca Sensus modelo 121-12) y segundo corte (marca Fisher modelo S-201M), conexión 2" NPT Hembra



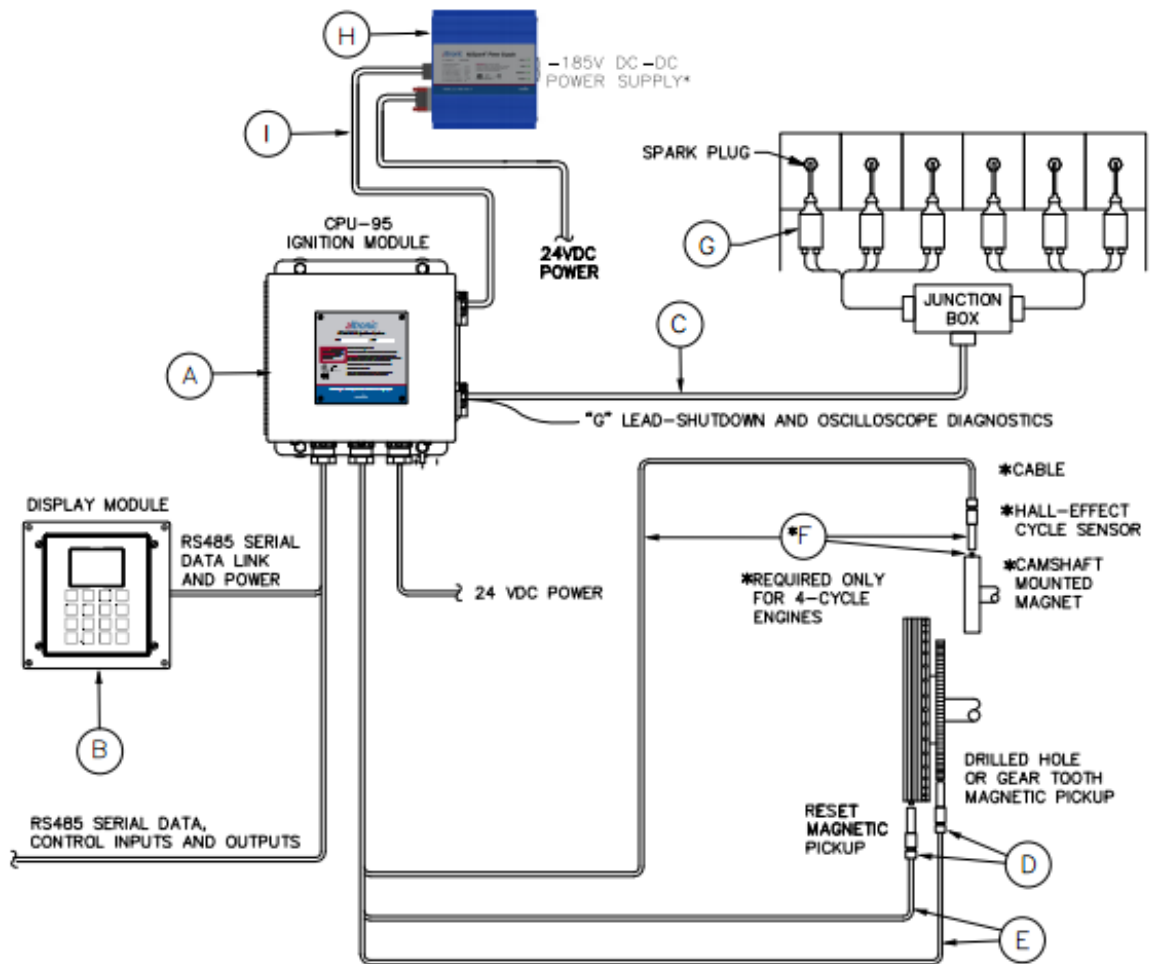
La línea de suministro llega al filtro del motocompresor, luego se regula el gas en dos cortes, para finalmente entrar a los cilindros motrices por el carburador. Este se controla a través de una electroválvula, la cual actúa de acuerdo a la señal de apagado (shutdown) generada por el anunciador DE-3000.

5.1.2 Sistema de ignición

El sistema de ignición es un sistema generador de chispa sincronizado al movimiento rotatorio de un motor de combustión. La combustión puede funcionar con mezcla rica o pobre de acuerdo al tipo de motor, para el caso del motocompesor 04LP trabaja con mezcla pobre (posee menor porcentaje de gas que de aire). El sistema ALTRONIC CPU-95 es un sistema por descarga capacitiva con microprocesador. Se caracteriza por una gran precisión del encendido y la posibilidad de cambiar el tiempo de encendido electrónicamente por varios medios, incluida una señal de control externa de 4-20 mA, conectada con el módulo de visualización opcional. Este sistema es programable en sitio y ofrece una variedad de métodos de control, reducción de emisiones de escape, diagnósticos del primario y de la chispa, autodiagnósticos, comunicaciones seriales y protecciones del motor.

A nivel general, se compone de dos piezas: el módulo de encendido montado sobre el motor y un módulo de visualización opcional que sirve de interfaz para el usuario, pero estos a su vez constan de los siguientes elementos o dispositivos; sensor "pickup" cuenta dientes, sensor "pickup" efecto hall, sensor "pickup" pin reset, arnés para "pick up", cableado primario, transformador de ignición, cableado secundario y bujía.

Figura 11. Plano de instalación básico del sistema de ignición con CPU-95



Fuente: Altronic. CPU-95EVS Enhanced VariSpark® Digital Ignition System for Industrial Engines. <http://www.altronic-llc.com/pdf/cpu95/CPU-95EVS%209-14.pdf>

Anunciador: display visualizador de datos operativos y de la configuración de la CPU-95.

Figura 12. Anunciador CPU-95



Modulo CPU-95: consta de una tarjeta electrónica alimentada con 24 VDC, con 16 salidas de voltaje desde 120 hasta 160 VDC regulados de acuerdo a la exigencia de cada cilindro, estas salidas se utilizan como suministro de voltajes de cada uno de los cilindros del motor.

La CPU-95 posee una memoria interna EEPROM programable y reemplazable, esta memoria es configurada de acuerdo a la referencia de cada motor teniendo en cuenta el tiempo BTDC, PIN RESET, cantidad de dientes de la volante, el PATTERN FIRING, cantidad de cilindros, velocidad del Motor. También si se requiere se configura rampa de RPM y curva de retardo del lazo de corriente para el arranque del motor.

Figura 13. CPU-95EVS



Sensor “pickup” cuenta dientes: sensores magnéticos que detectan N cantidad de dientes de la volanta y envían N cantidad de pulsos, con frecuencias entre 2 a 5 KHz.

Sensor “pickup” cuenta PIN RESSET: sensores magnéticos que detectan N cantidad de vueltas del cigüeñal que son dos por ciclo, pulsos con frecuencias entre 2 a 5 KHz.

Sensor “pickup” cuenta efecto Hall: sensores magnéticos que detectan N cantidad de vueltas del cigüeñal que es 1 por ciclo, pulsos con frecuencias entre 2 a 5 KHz.

Arnés: cable para conectar las señales de la CPU-95 hacia cada una de los sensores.

Figura 14. Sensor cuenta dientes, sensor efecto hall, sensor reset, arnes



- Cableado primario: Conductor de 120 a 160 VDC.
- Transformador de ignición: elevador de voltaje de 120 a 10000 VDC.
- Cableado secundario: Conductor de 120 a 160 VDC.

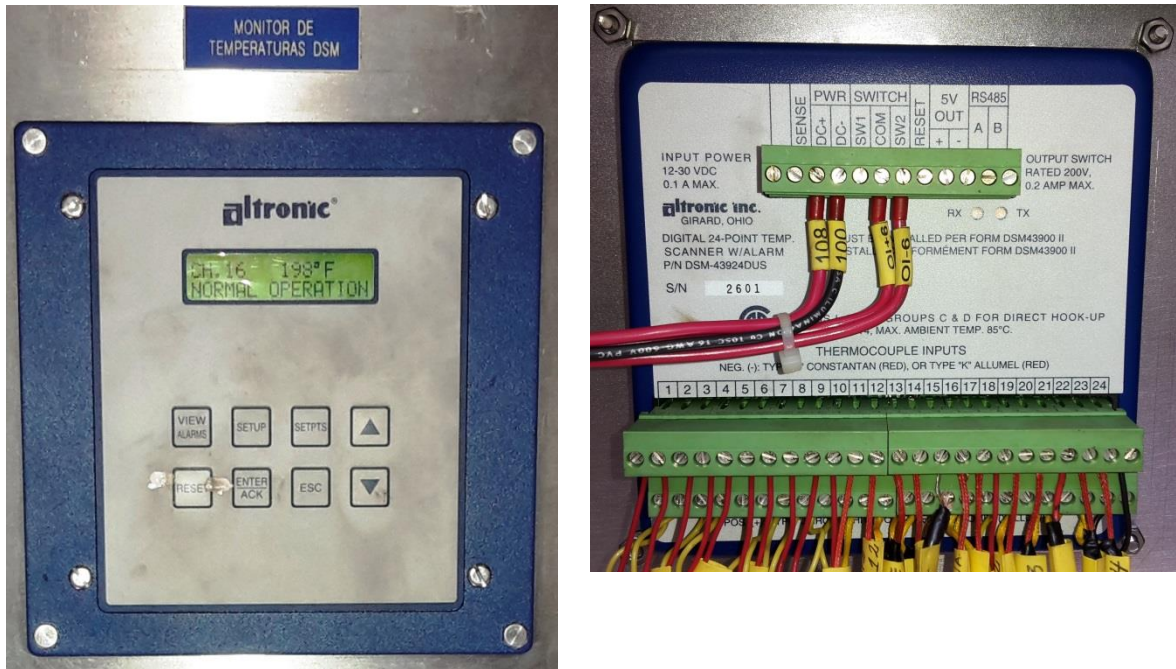
Figura 15. Transformador de ignición, cable primario, cable secundario y bujía



5.1.3 Sistema control temperature.

El sistema de control de temperatura, está compuesto por los sensores de temperatura (termocuplas tipo K) instalados en los diferentes puntos del motocompresor. Las señales de estos sensores convergen en el monitor de temperaturas DSM, este monitor cuenta con 24 canales para señales de temperatura, comunicación RS-485 y salida de switch para conectar la señal en el anunciador DE-3000 (dependiendo de la lógica de programación se conectara al contacto NO ó NC).

Figura 16. Monitor de temperaturas DSM



Los sensores instalados actualmente en el motocompresor 04LP son los siguientes:

- 1 termocupla tipo K sensor en L en cada uno de los cilindros motrices (12)
- 1 termocupla tipo K sensor recto en la entrada de agua del motor
- 1 termocupla tipo K sensor recto en la salida de aceite del motor
- 1 termocupla tipo K sensor recto en la entrada de aceite del motor
- 1 termocupla tipo K sensor recto en cada una de las descargas de los cilindros compresores (4)
- 1 termocupla tipo K sensor recto en la succión del cilindro compresor # 3
- 1 termocupla tipo K sensor recto en la succión del cilindro compresor # 4

- 1 termocupla tipo K sensor recto en la succión de los cilindros compresores # 1 y 2.
- 1 termocupla tipo K sensor recto en la descarga de la bomba de agua del motocompresor.

En el caso hipotético que se presente una falla en algún sensor (apertura del termopar), se evidencia en el anunciador DE-3000 el canal donde se conecta la salida de switch del monitor DSM, seguidamente se verifica en el monitor DSM el canal donde se presentó la falla, lo cual facilita la revisión y/o diagnostico por parte del personal técnico.

Se puede presentar la falla más común relacionada con los sensores de temperatura, esta es, aumento de la temperatura en el escape del cilindro compresor hasta llegar al límite superior establecido en la configuración previa de cada canal. Dicha falla se puede presentar por problemas asociados a los componentes mecánicos del equipo como por ejemplo; mala lubricación, problemas de combustión, calibración de válvulas de admisión y escape, etc.

Tabla 2. Señales DSM

SEÑALES DSM		
Canal	Descripción	Rango señal °F
1	Temperatura escape cilindro motriz 1	0-1200
2	Temperatura escape cilindro motriz 2	0-1200
3	Temperatura escape cilindro motriz 3	0-1200
4	Temperatura escape cilindro motriz 4	0-1200
5	Temperatura escape cilindro motriz 5	0-1200
6	Temperatura escape cilindro motriz 6	0-1200
7	Temperatura escape cilindro motriz 7	0-1200
8	Temperatura escape cilindro motriz 8	0-1200
9	Temperatura escape cilindro motriz 9	0-1200
10	Temperatura escape cilindro motriz 10	0-1200
11	Temperatura escape cilindro motriz 11	0-1200
12	Temperatura escape cilindro motriz 12	0-1200
13	Temperatura succión 1ra etapa	0-140
14	Temperatura descarga cilindro compresor 1 1ra etapa	0-285
15	Temperatura descarga cilindro compresor 2 1ra etapa	0-285
16	Temperatura succión 2da etapa	0-140
17	Temperatura descarga cilindro compresor 3 2da etapa	0-300
18	Temperatura succión 3ra etapa	0-240
19	Temperatura descarga cilindro compresor 4 3ra etapa	0-300
20	Salida aceite motor	0-190
21	Entrada aceite motor	0-180
22	Salida agua motor	0-200

5.1.4 Sistema control instrumentos motocompresor.

Existen otras variables (presión, vibración, nivel, velocidad) que influyen directamente en el funcionamiento del motocompresor, las cuales son sensadas por diferentes instrumentos y tienen asignado un canal específico en la tarjeta de datos del anunciador DE-3000, para evitar que dichas variables excedan el punto de control establecido en la configuración inicial.

5.1.4.1 Señales de presión.

Estas señales son sensadas por medio de transductores, los cuales reciben una señal neumática proveniente del motocompresor y entregan una señal de salida de 0.5 a 4.5 Vdc, que el DE-3000 interpreta, generando shutdown dependiendo del setting por baja o alta configurado en cada canal.

Figura 17. Transductor de presión 0-100 psi



- Presión bomba aceite carter
- Presión manifold (vacío)
- Presión gas combustible
- Presión aire de arranque
- Presión succión
- Presión descarga primera etapa
- Presión descarga segunda etapa
- Presión descarga tercera etapa
- Presión descarga bomba de agua
- Presión diferencial 1
- Presión diferencial 2

5.1.4.2 Señales de nivel

Estas señales son sensadas por instrumentos en los cuales el mecanismo de operación es un flotador que acciona un microswitch dependiendo del nivel en el que se encuentra el sensor. El microswitch al ser accionado mecánicamente envía una señal de cambio de estado hacia el anunciador DE-3000, esta señal puede ser NC ó NO.

- Nivel aceite carter

Figura 18. Switch de nivel de aceite marca Murphy modelo LMX-301



- Nivel agua cooler

Figura 19. Switch de Nivel agua



- Nivel líquidos scrubber interetapas

Figura 20. Switch de Nivel Scrubber



5.1.4.3 Señales vibración

Esta señal es sensada por medio de un juego de contactos sostenidos en una posición de enganche a través de un brazo mecánico y un mecanismo magnético. Si el nivel de vibración aumenta una contrapesa ejerce presión contra el brazo mecánico y empuja el mecanismo magnético causando que el brazo mecánico opere los contactos.

- Vibración enfriador

Figura 21. Switch de vibración enfriador



- Vibración motocompresor

Figura 22. Switch de vibración motocompresor



- Vibración motor ventilador auxiliar.

Figura 23. Switch vibración ventilador auxiliar



5.1.4.4 Señal sobrevelocidad

Esta es medida con un sensor magnético o pick up. Los sensores de frecuencia de detección magnética pasivos, convierten el movimiento mecánico en voltaje de corriente alterna. Esta señal de corriente es procesada en la CPU-95 y enviada al display de la CPU-95.

5.1.4.5 Señal switch de no flujo

En la lógica de programación está configurado con un tiempo de lubricación, debido a que en el arranque de la maquina la presión de aceite de lubricación de los cilindros compresores es inicialmente cero y a medida q se alcanza la velocidad nominal del equipo la bomba genera la presión necesaria para lubricar

las partes idealmente, al finalizar el tiempo configurado el sistema mediante el switch cierra el contacto permitiendo la operación normal del equipo.

Figura 24. Switch no flujo



En la tabla 3 se relacionan los canales en los cuales están conectadas las señales que son controladas con el DE-3000.

Tabla 3. Descripción señales DE-3000

SEÑALES ANUNCIADOR DE-3000				
Canal	Descripción	Clase	Tiempo de retraso	Tipo/Rango señal
01	Presión succión 1ra etapa			0-100 Psig
02	Presión descarga 1ra etapa			0-300 Psig
03	Presión descarga 2da etapa			0-500 Psig
04	Presión descarga 3ra etapa			0-2000 Psig
05	Presión aceite			0-100 Psig
06	Presión agua			0-100 Psig
07	Presión aire arranque			0-300 Psig
08	Presión vacío carter			0-100 Psig
09	Presión gas combustible			0-100 Psig
10	Presión vacío manifold			0-100 Psig
11	Ventilador proceso	A	000 Sec.	N/C Switch
12	Not Used	A	000 Sec.	-
13	Not Used	A	000 Sec.	-
14	Alta presión diferencial aceite	B	060 Sec.	N/C Switch
15	Not Used	A	000 Sec.	-
16	Parada de emergencia	A	000 Sec.	N/C Switch
17	Falla CPU-95	A	000 Sec.	N/C Switch
18	Falla DSM	A	000 Sec.	N/C Switch
19	Bajo nivel de agua	A	000 Sec.	N/C Switch
20	Bajo nivel de aceite	A	000 Sec.	N/C Switch
21	Alta vibración motor	A	000 Sec.	N/C Switch
22	Alta vibración cooler	A	000 Sec.	N/C Switch
23	Alta vibración ventilador auxiliar	A	000 Sec.	N/C Switch
24	Alto nivel scrubber 1	A	000 Sec.	N/C Switch
25	Alto nivel scrubber 2	A	000 Sec.	N/C Switch
26	Alto nivel scrubber 3	A	000 Sec.	N/C Switch
27	No flujo	B	180 Sec	N/C Switch
28	Not Used	A	000 Sec.	-
29	Not Used	A	000 Sec.	-
30	Not Used	A	000 Sec.	-
S01	Speed # 1			RPM
A01	Channel A01			%
A02	Channel A02			

5.2 DESCRIPCIÓN SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR IR 12SVG 03LP.

El sistema de control del motocompresor 03LP es de tipo neumático, al igual que los instrumentos que lo componen. En el panel de control los testigos o banderolas (relés neumáticos) indican o dan aviso de una condición anormal de alguno de los sensores en el motocompresor.

Figura 25. Testigos panel de control



5.2.1 Sistema gas combustible

La filtración y la regulación del gas suministro que llega al motocompresor 03LP opera igual que en el motocompresor 04LP. La diferencia de los sistemas radica la válvula de corte que es de tipo neumática, tiene suministro de aire constante para permanecer abierta y solo cierra por falla en alguno de los instrumentos, activando el testigo correspondiente en el panel de control.

Figura 26. Válvula de corte neumática, regulador primer corte, regulador segundo corte.



5.2.2 Sistema ignición

El sistema de ignición en el motocompresor 03LP está compuesto principalmente por un magneto, al igual que la CPU-95 se encarga suministrar el voltaje a las bobinas de los cilindros motrices de acuerdo al orden de encendido del motor. Posee cableado primario, bobinas o transformadores de ignición, cableado secundario y bujías. A diferencia del sistema de control electrónico no es posible visualizar en el panel de control los niveles de energía de las bobinas o fallas que se pueden presentar con los elementos que componen el sistema. La falla en alguno de los componentes del sistema generara una alta incertidumbre en el momento de dar un diagnóstico inicial de una falla.

Figura 27. Magneto Altronic



Figura 28. Bobina, cableado primario, cableado secundario y bujia

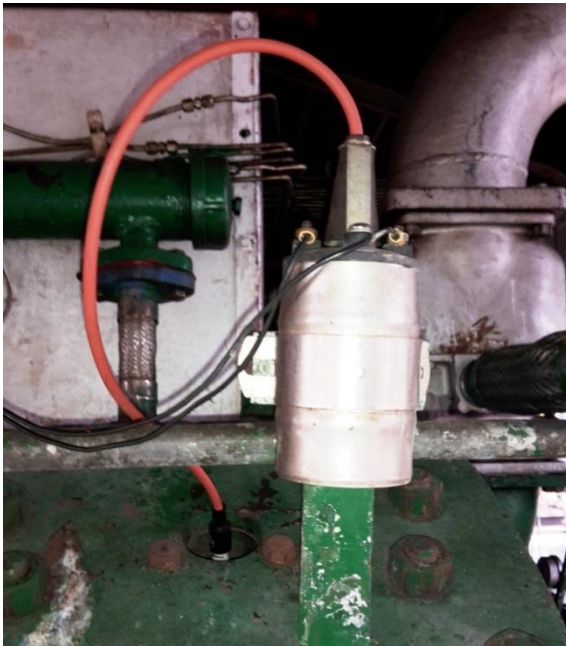
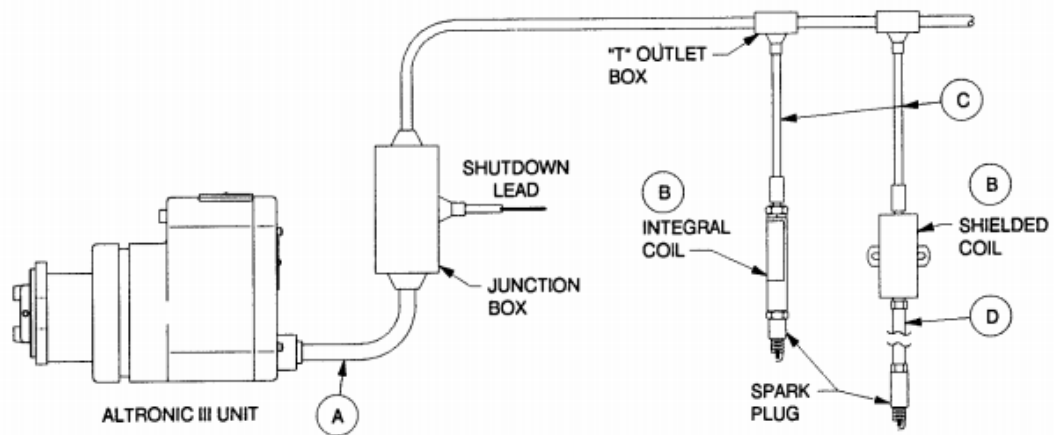


Figura 29. Diagrama conexión magneto



Fuente: Altronic. Medium engines. 2-16 Cylinders. Shielded system
<http://www.altronicinc.com/pdf/altronicIII/alt3applist.pdf>

5.2.3 Sistema control de temperatura

Está compuesto por switches neumáticos, internamente poseen un ajuste mecánico por resorte y aguja, los cuales dependiendo del rango de calibración se abren para aliviar la presión constante que mantiene la entrada del switch y con la cual activan el testigo en el panel de control generando el apagado de la máquina.

Los switches instalados en el motocompresor03LP son los siguientes:

- Switch neumático en descarga de cilindro compresor # 1.
- Switch neumático en descarga de cilindro compresor # 2.
- Switch neumático en descarga de cilindro compresor # 3.
- Switch neumático en descarga de cilindro compresor # 4
- Switch neumático en línea de agua al motor.

Figura 30. Switch temperatura descarga cilindros compresores, marca amot modelo 4075



**Type 4075
High Temperature Valve**

Fuente: Amot. 4075/4475 High Temperature Valves. Overview
<http://www.amot.com/products/pneumatic-instrumentation/temperature-sensing-valves/product/157/40754475-high-temperature-valves>

Figura 31. Switch temperatura línea agua motor, marca amot modelo 2230



**Type 2230 Valve
(Brass)**

Fuente: Amot. 2230/4430 2-Way Temperature Sensing Valves. Overview.
<http://www.amot.com/products/pneumatic-instrumentation/temperature-sensing-valves/product/260/22304430-2-way-temperature-sensing-valves>

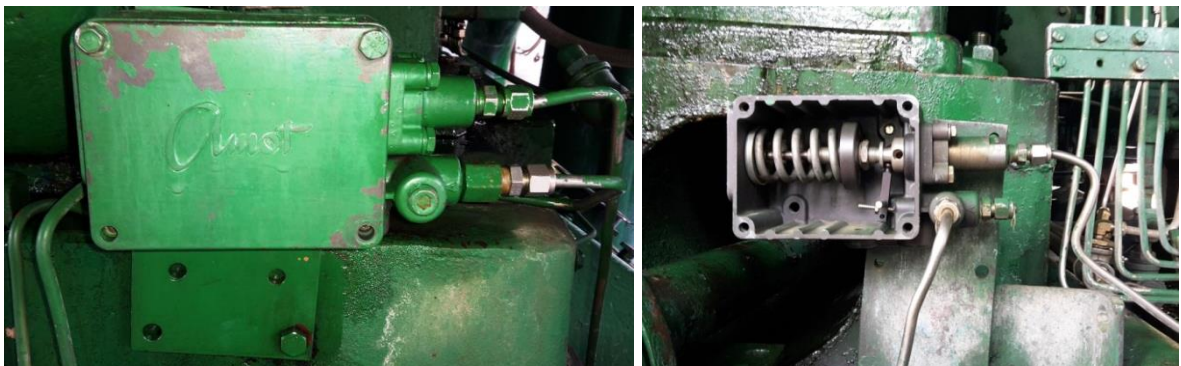
5.2.4 Sistema control instrumentos motocompresor

Existen otras variables (presión, vibración, nivel, velocidad) que influyen directamente en el funcionamiento del motocompresor, las cuales son sensadas por diferentes instrumentos y tienen asignado un testigo en el panel de control, para actuar y generar el apagado del equipo en caso de que alguna variable exceda el rango de calibración.

5.2.4.1 Señales de presión

Está compuesto por tres switches de presión neumáticos; son normalmente cerrados y pasan a posición abierta si la presión de calibración aumenta o disminuye por encima o por debajo del punto de disparo, el ajuste es por resorte y se calibran de acuerdo a la presión de aceite en el carter del motor y presión de descarga en cilindro de tercera etapa respectivamente.

Figura 32. Switches de presión aceite en carter y descarga cilindro tercera etapa



5.2.4.2 Señales de nivel

Estas señales son sensadas por switches neumáticos, en los cuales el mecanismo de operación es un flotador que mediante un eje interrumpen el paso de aire dependiendo del nivel de líquidos. Al ser interrumpido el flujo del aire en alguno de

los switches se acciona un testigo en el panel de control, lo que ocasiona apagado de la máquina.

- Nivel de aceite en cárter

En el switch de nivel se visualiza el nivel de aceite en el cárter. El nivel en el cárter corresponde directamente con el nivel de aceite en la caja del interruptor de nivel de aceite. Si el nivel de aceite en el cárter cae más allá del nivel apropiado, el switch se disparará y activará el testigo en el panel de control.

Figura 33. Switch nivel aceite cárter motor



Fuente: Kenco. Model KLCP oil level controller with pneumatic switch
<http://mestekindia.com/pdf/OilLevelControllersandOilLevelSwitches.pdf>

- Nivel líquidos scrubber

El motocompresor posee seis switches de nivel neumático (dos en cada scrubber) accionados por flotador mediante un eje, tres switches para controlar nivel bajo y tres switches para controlar nivel alto. Los switches para nivel bajo al detectar líquidos de gas de compresión accionan una válvula neumática que drena estos y normalizan el sistema. En caso de que alguno de estos switches en alguna de las etapas no cumpla su función, los switches de nivel alto deberán detectar los

líquidos y accionar el testigo en el panel de control que hará que se apague el motocompresor.

Figura 34. Switches nivel scrubber etapas compresión



5.2.4.3 Señales de vibración

- Vibración enfriador
- Vibración motocompresor
- Vibración ventilador.

Figura 35. Switch de vibración enfriador



Figura 36. Switch de vibración motocompresor



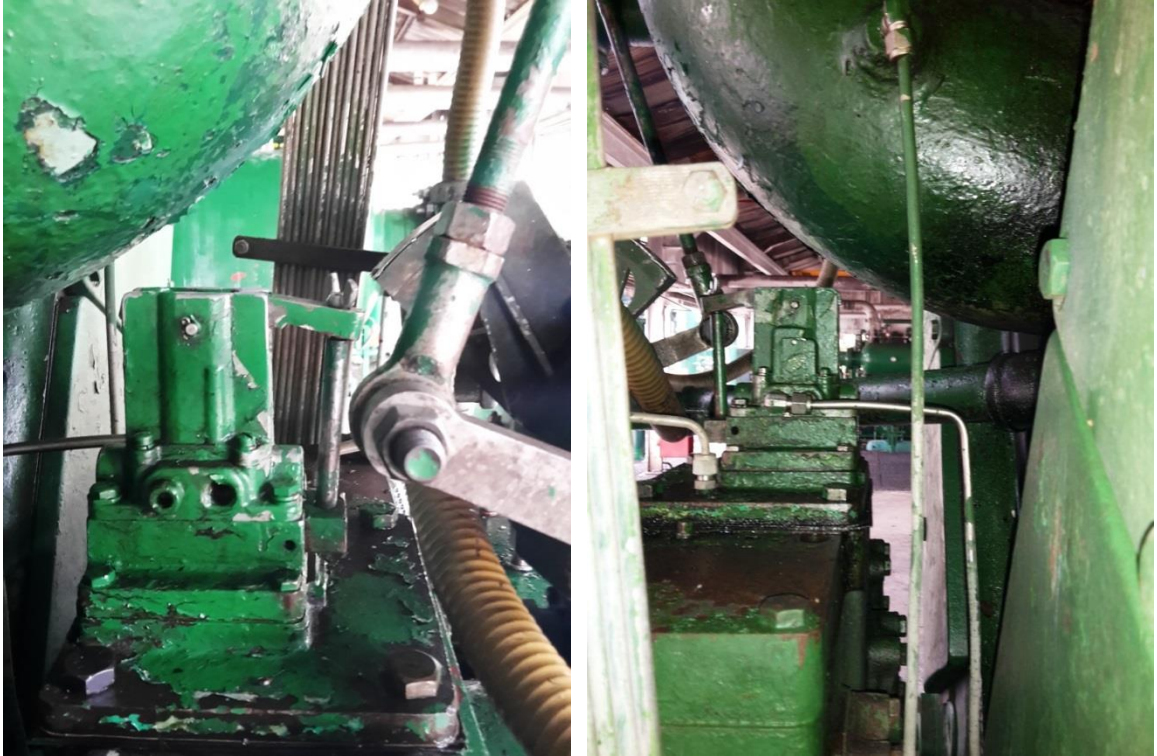
Figura 37. Switch de vibración ventilador auxiliar



5.2.4.4 Señal sobrevelocidad

El switch de sobrevelocidad se calibra mediante ajuste mecánico dependiendo de la velocidad nominal del motor, este vence la tensión y libera el aire contenido desde el panel de control haciendo que el testigo neumático cambie de estado y genere un apagado en la máquina.

Figura 38. Switch sobrevelocidad



5.3 COMPARACIÓN SISTEMA DE CONTROL ELECTRONICO – NEUMATICO

De acuerdo a los descrito en los dos sistemas de control, se relacionan en la tabla 4 las señales sensadas en cada uno de los sistemas de control.

Tabla 4. Comparación señales sistemas de control motocompresor IR 12SVG

COMPARACIÓN SEÑALES SISTEMAS DE CONTROL MOTOCOMPRESOR IR 12SVG			
#	Descripción	Electronica	Neumatica
01	Presión succión 1ra etapa	SI	NO sensada
02	Presión descarga 1ra etapa	SI	NO sensada
03	Presión descarga 2da etapa	SI	NO sensada
04	Presión descarga 3ra etapa	SI	SI
05	Presión aceite	SI	NO sensada
06	Presión agua	SI	NO sensada
07	Presión aire arranque	SI	NO sensada
08	Presión vacio carter	SI	NO sensada
09	Presión gas combustible	SI	NO sensada
10	Presión vacio manifold	SI	NO sensada
14	Alta presión diferencial aceite	SI	SI
16	Parada de emergencia	SI	SI
17	Falla CPU-95	SI	NO sensada
18	Falla DSM	SI	NO sensada
19	Bajo nivel de agua	SI	NO sensada
20	Bajo nivel de aceite	SI	SI
21	Alta vibración motor	SI	SI
22	Alta vibración cooler	SI	SI
23	Alta vibración ventilador auxiliar	SI	SI
24	Alto nivel scrubber 1	SI	SI
25	Alto nivel scrubber 2	SI	SI
26	Alto nivel scrubber 3	SI	SI
27	No flujo	SI	SI
28	Speed # 1	SI	SI
29	Temperatura escape cilindro motriz 1	SI	NO sensada
30	Temperatura escape cilindro motriz 2	SI	NO sensada
31	Temperatura escape cilindro motriz 3	SI	NO sensada
32	Temperatura escape cilindro motriz 4	SI	NO sensada
33	Temperatura escape cilindro motriz 5	SI	NO sensada
34	Temperatura escape cilindro motriz 6	SI	NO sensada
35	Temperatura escape cilindro motriz 7	SI	NO sensada
36	Temperatura escape cilindro motriz 8	SI	NO sensada
37	Temperatura escape cilindro motriz 9	SI	NO sensada
38	Temperatura escape cilindro motriz 10	SI	NO sensada
39	Temperatura escape cilindro motriz 11	SI	NO sensada
40	Temperatura escape cilindro motriz 12	SI	NO sensada
41	Temperatura succión 1ra etapa	SI	NO sensada
42	Temperatura descarga cilindro compresor 1 1ra etapa	SI	SI
43	Temperatura descarga cilindro compresor 2 1ra etapa	SI	SI
44	Temperatura succión 2da etapa	SI	NO sensada
45	Temperatura descarga cilindro compresor 3 2da etapa	SI	SI
46	Temperatura succión 3ra etapa	SI	NO sensada
47	Temperatura descarga cilindro compresor 4 3ra etapa	SI	SI
48	Salida aceite motor	SI	NO sensada
49	Entrada aceite motor	SI	NO sensada
50	Salida agua motor	SI	SI

6. ANALISIS FUNCIONAL

Los compresores 03LP y 04LP de la estación Santos, son marca Ingersoll Rand modelo 12SVG, conducidos por motor de combustión interna; están provistos de instrumentos encargados de controlar y monitorear las variables. Se diferencian en cada máquina en su principio de funcionamiento los cuales son de tipo neumático y electrónico respectivamente, tienen la misma finalidad que es generar una señal de alarma o detener su funcionamiento en caso de falla, principalmente por suministro de agua refrigerante, baja presión del aceite, alta presión en la descarga, o de exceso de velocidad y vibración.

6.1 SISTEMA DE IGNICIÓN

El sistema de ignición es fundamental para el encendido y correcto funcionamiento de los motocompresores; en la máquina 03LP de Santos está acoplado mecánicamente al motor, compuesto por un magneto, cableado primario (bajo voltaje), bobinas o transformadores de ignición, cableado secundario (alto voltaje) y bujías. El magneto es el encargado de generar y distribuir corriente a las bobinas; internamente posee principalmente un imán, bobinas y un juego de piñones, que transforman el movimiento mecánico del motor (árbol de levas) en corriente, por lo tanto no requiere ningún tipo de alimentación externa para poder cumplir su función. Las bobinas a su vez elevan el voltaje y lo conducen hacia las bujías, estas finalmente proporcionan la chispa a las precámaras de los cilindros compresores por medio de cables secundarios o de alta tensión.

En la máquina 04LP de Santos la CPU-95 es la encargada de coordinar la ignición en la máquina por medio de tres sensores, "pick up" de efecto hall, "pick up" pin reset y "pick up" cuenta dientes. El sensor de efecto hall está instalado sobre el árbol de levas, los sensores de pin reset y cuenta dientes están instalados sobre la

volanta. Los tres sensores verifican la sincronización de la máquina y permiten la generación de la chispa en cada uno de los cilindros.

6.2 SISTEMA DE ARRANQUE

El sistema de arranque en la maquina 03LP es de control neumático, el panel de control está compuesto por banderolas neumáticas, las cuales deben ser reseteadas manualmente previo arranque de la máquina. Se verifica que el gobernador este en valor cero, se procede a abrir las válvulas del aire y del gas combustible manualmente, en ese instante la maquina arranca a aproximadamente 45 rpm por la fuerza que ejerce la presión del aire, simultáneamente el magneto gira y envía la chispa a los cilindros impulsando la máquina para que alcance la velocidad promedio de trabajo (400 rpm). En la maquina 04LP las condiciones iniciales ideales para el arranque de la maquina esta programadas en el software que controla el equipo, no se realiza ninguna apertura de válvulas manualmente, inicialmente se “resetea” el indicador (display) de la CPU-95, el monitor de temperaturas DSM y principalmente el controlador DE-3000. Seguidamente se da la orden de arranque por medio de un pulsador ubicado en el tablero de control, momento en el cual se inicia la prelubricación de la máquina, al alcanzar la presión de aceite adecuada de prelubricación da un permisivo, momento en el cual se abren las válvulas de corte de aire (aire al bloque y aire a cada válvula de los cilindros) permitiendo el paso de aire al bloque el cual produce movimiento en el árbol de levas, al alcanzar un valor de rpm mínimo se abre la válvula de gas combustible y la CPU-95 genera la chispa iniciando el proceso de combustión secuencialmente según los tiempos de la maquina al haber confirmación de la chispa se cierran las solenoides de corte de aire y el motocompresor continua su proceso de arranque hasta alcanzar la velocidad nominal.

Figura 39. Panel de control motocompresor 03LP

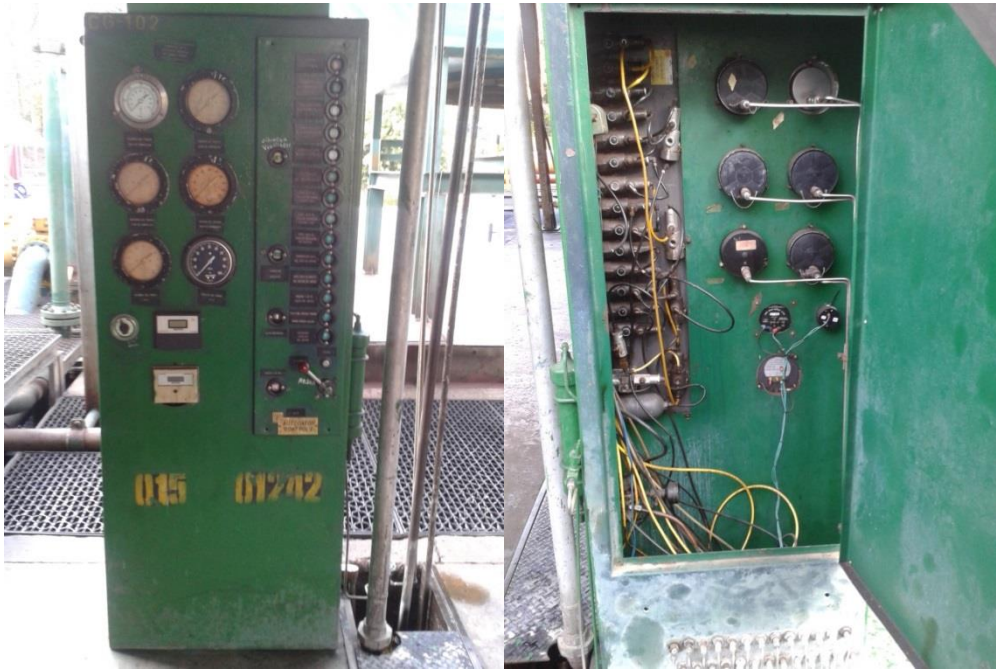


Figura 40. Panel de control motocompresor 04LP



6.3 DETECCIÓN DE FALLAS

La detección de fallas en la maquina 03LP de santos, son más complejas de detectar por su básico sistema de control, los problemas relacionados con el sistema de ignición o de presión en alguna etapa generan una alta incertidumbre a la hora de realizar un diagnóstico. Al presentarse una falla en alguna bujía o bobina, es necesario verificar cada uno de estos componentes en cada cilindro hasta determinar cuál es el que presenta alguna avería, al igual sucede si se presenta algún problema en alguna asiento de válvula de algún cilindro compresor es necesario revisar cuál de las 24 válvulas presenta taponamiento. A diferencia de la maquina 04LP de santos, donde se visualiza en el indicador (display) de la cpu-95 cual componente de cual cilindro presenta falla y que requiere revisión; igualmente si la falla se presenta por alta o baja presión, alta temperatura, bajo nivel de agua, aceite o alto nivel líquidos en los scrubber, alta vibración en los puntos donde se mide cada variable, disminuyendo considerablemente el tiempo de reparación y por ende el tiempo que permanece la maquina fuera de servicio

Los costos asociados a las fallas inherentes al motocompresor que funcionan con un sistema de control neumático, se pueden disminuir instalando un sistema electrónico. A continuación se enuncian las fallas que se pueden mitigar en el sistema propuesto.

6.3.1 Detonaciones

Las detonaciones son la condición de operación más destructiva a que se puede someter un motor de combustión interna. (manual técnico compresores IR SVG). Una detonación es el autoencendido de la mezcla de aire, gas combustible en un motor de combustión interna, debido a su presión, temperatura, en otras palabras es una combustión rápida en un motor de combustión interna dando como resultado un golpeteo. Esta condición entre otras la puede generar un mal funcionamiento del magneto. El magneto es utilizado en las maquinas con sistema de control neumático y electroneumático para generar la chispa fundamental en el

proceso de la combustión, internamente el magneto posee unas escobillas las cuales giran constantemente y con el tiempo se desgastan y se esparcen cambiando el ángulo de ignición de los cilindros en valores de angularidad superiores o inferiores al estándar. Esta condición genera detonaciones en el motocompresor lo cual conlleva a producir daños en válvulas motrices, guías de válvulas, bujes de pistón, casquetes de bielas, pistones y en peor de los casos daños en el cigüeñal. Con la instalación de la CPU-95 se asegura la uniformidad en los ángulos de ignición.

6.3.2 Presencia de líquidos en los cilindros.

El gas de compresión que contiene líquidos y estos no son drenados por el sistema de control de nivel en los “scrubbers” pueden llegar hasta las válvulas compresoras, generar daño en estas, y en los pistones. En ciertos casos las válvulas se bloquean se atascan produciendo un fuerte golpe que afecta el cigüeñal al haber muñones y bancadas abiertas.

6.3.3 Vibración

El mal funcionamiento del ventilador del cooler genera vibraciones excesivas que pueden producir daños en las chumaceras del ventilador y de la polea tensora.

7. ANALISIS ECONOMICO

Para realizar el analisis economico se deben determinar los criterios con los cuales se van a determinar los beneficios de instalar un sistema de control electronico, evaluar la disminuci3n o aumento de la disponibilidad del equipo, y que tan rentable resulta la disminuci3n de la probabilidad de ocurrencia de una falla catastrofica comparado con el costo de la nueva implementaci3n. El analisis economico tiene como objetivo identificar los costos asociados a la NO disponibilidad del equipo durante los a1os 2012, 2013 y 2014; costos de instalaci3n del sistema de control electronico y costos de da1os catastroficos que se pueden presentar y evitar, para finalmente evaluar el costo beneficio de la implementaci3n del nuevo sistema de control.

7.1 LEVANTAMIENTO DE INFORMACI3N

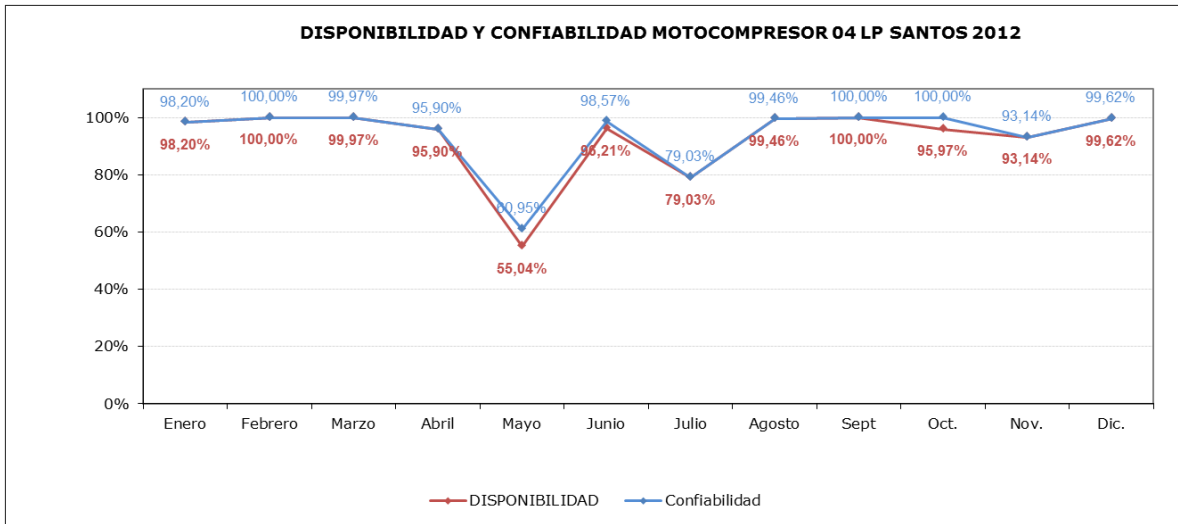
Para el analisis de los costos asociados a la NO disponibilidad se realizo un estudio de la informaci3n suministrada por el ingeniero de confiabilidad de Consorcio Confipetrol en Campo Provincia, con la cual se realizaron unas graficas de disponibilidad, confiabilidad, MTTR (indicador de desempe1o que cuantifica el tiempo medio entre reparaciones), MTTF (indicador de desempe1o que cuantifica el tiempo medio para fallar) y diagrama de p1reto (m3todo de an1lisis que permite discriminar entre las causas m1s importantes de un problema) del motocompresor 04LP durante los a1os 2012, 2013 y 2014. Adem1s de obtuvo el PDT del overhaul del motocompresor (recursos, descripci3n de las tareas a ejecutar y duraci3n de estas) listado de respuestos para la instalaci3n del sistema de control electronico, para los cuales se consultaron los valores de estos en el sistema de informaci3n de Ecopetrol Ellipse⁴.

⁴ Ellipse ECP PRD 6.3.3. Programa de inventario. Sistema de informaci3n de Ecopetrol S.A

7.2 COSTOS POR NO DISPONIBILIDAD

Durante el año **2012** el motocompresor 04LP se encontraba trabajando con sistema de control neumático, la disponibilidad y confiabilidad promedio del motocompresor fueron 92.04% y 93.73% respectivamente. Los indicadores se vieron afectados por una falla en el sistema de ignición de la máquina y como ítem mantenible el magneto.

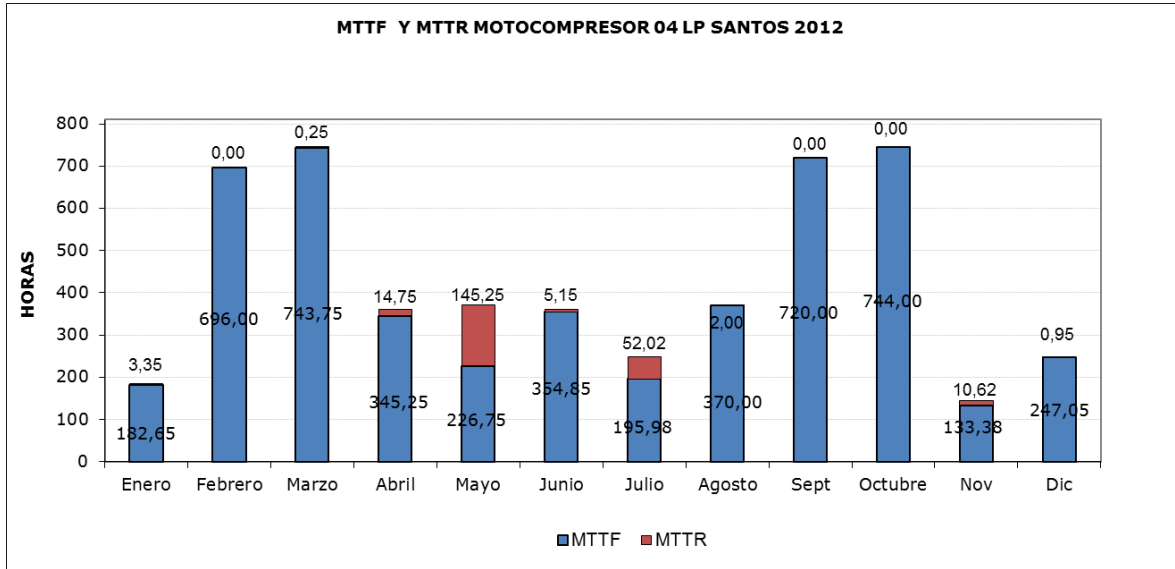
Figura 41. Disponibilidad y confiabilidad motocompresor 04LP año 2012



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

El indicador del promedio acumulado del tiempo medio para fallar (MTTF) es de 413.24 Hrs y se registraron 560 Hrs de NO disponibilidad del equipo por concepto de atenciones de tipo inmediato y correctivas.

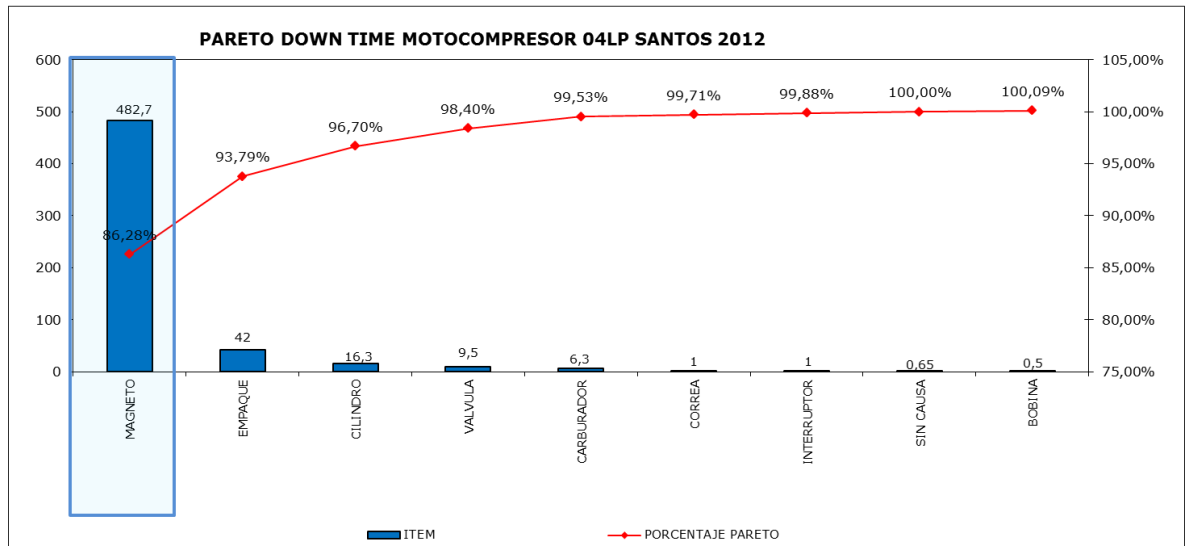
Figura 42. MTTF y MTTR motocompresor 04LP año 2012



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

El componente que afecto la disponibilidad del equipo y registro la mayor cantidad de horas hombre en atención para el año 2012 fue el magneto (sistema de ignición).

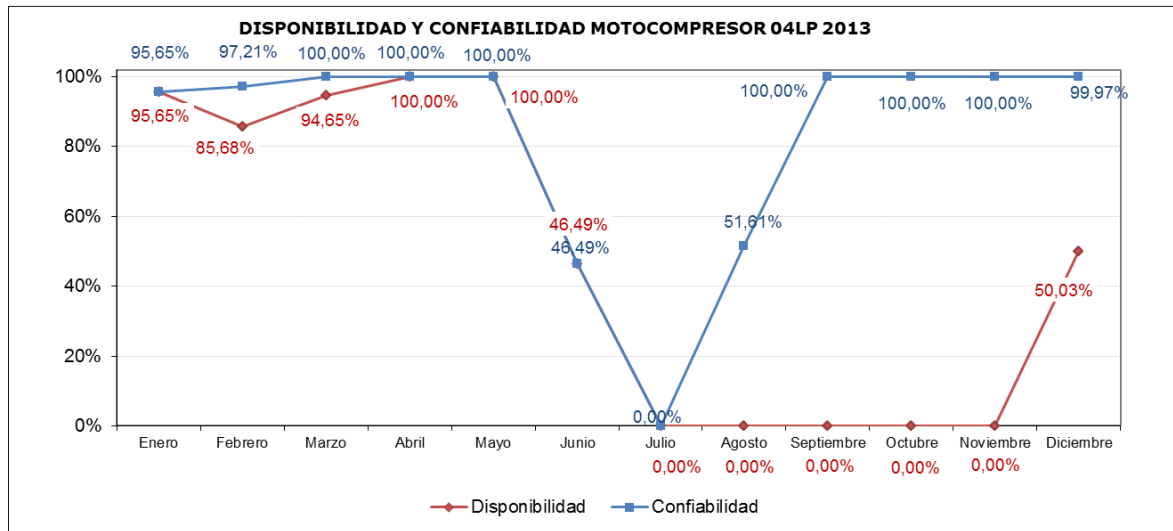
Figura 43. Diagrama de pareto motocompresor 04LP año 2012



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

Durante el año **2013** el motocompresor 04LP se encontraba trabajando con sistema de control neumático, la disponibilidad y confiabilidad promedio del motocompresor fueron 47.70% y 82.57% respectivamente. Los indicadores se vieron afectados por una falla catastrófica en el cigüeñal en el mes de junio, lo cual generó parada del equipo durante varios meses en los que se realizó mantenimiento mayor por oportunidad.

Figura 44. Disponibilidad y confiabilidad motocompresor 04LP año 2013

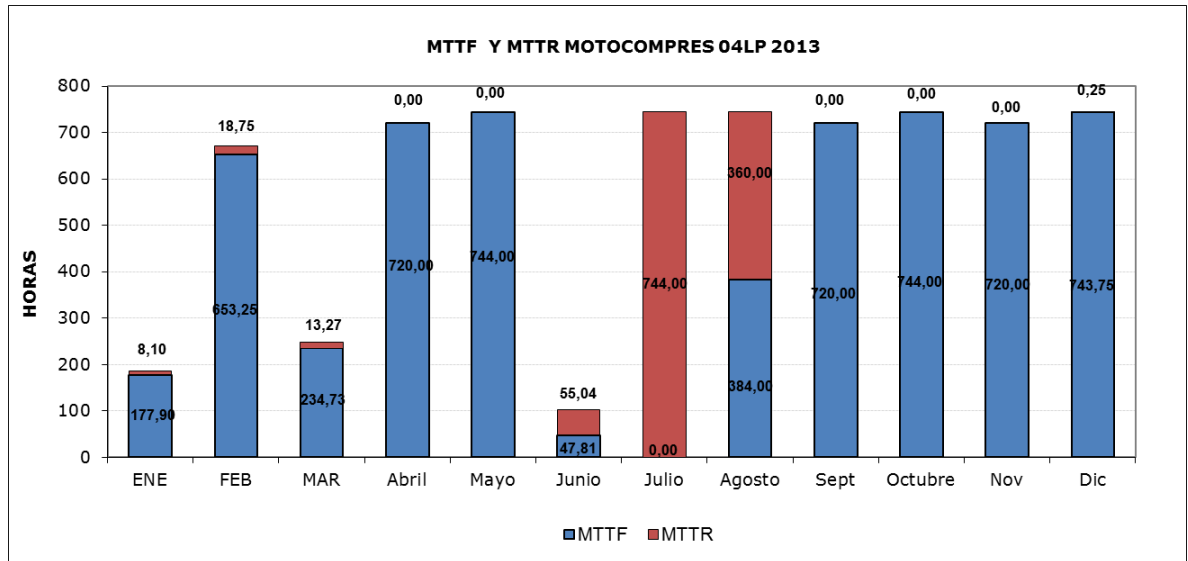


Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

Para el año 2013 el promedio acumulado del MTTF fue de 490,79 Hrs. Se evidencia un aumento significativo respecto al año anterior debido al mantenimiento mayor por oportunidad realizado durante los meses de octubre y noviembre.

Para el año 2013 se registraron 1580 Hrs de NO disponibilidad del equipo a causa pricipalmente de la falla del cigüeñal.

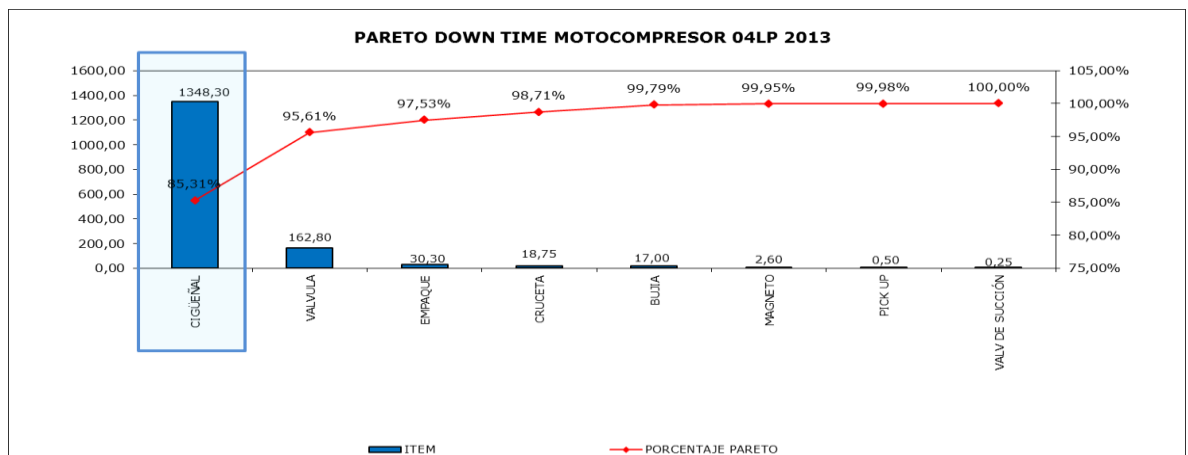
Figura 45. MTTF y MTTR motocompresor 04LP año 2013



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

El mal actor para el año 2013 del compresor fue el cigüeñal, que requirió cambio debido a la magnitud del daño del evento presentado en el mes de junio.

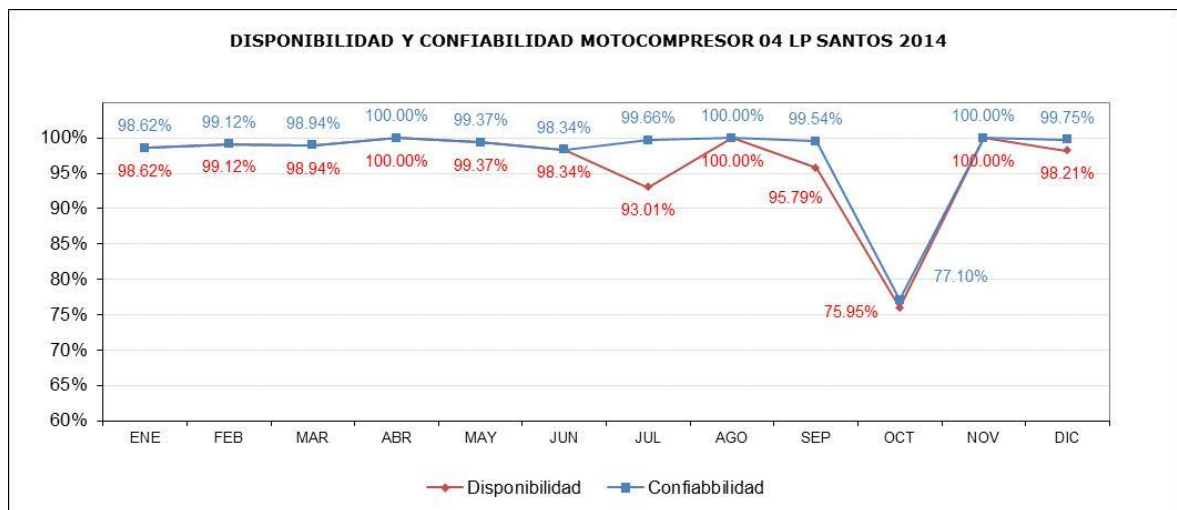
Figura 46. Diagrama de pareto motocompresor 04LP año 2013



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

Durante el año **2014** el motocompresor 04LP, luego del mantenimiento mayor realizado donde ademas se actualizo el sistema de control a electronico, la disponibilidad y confiabilidad promedio del motocompresor fueron 96.44% y 97.53% respectivamente. Los indicadores se vieron afectados por una falla en el en uno de los sensores de velocidad el mes de octubre.

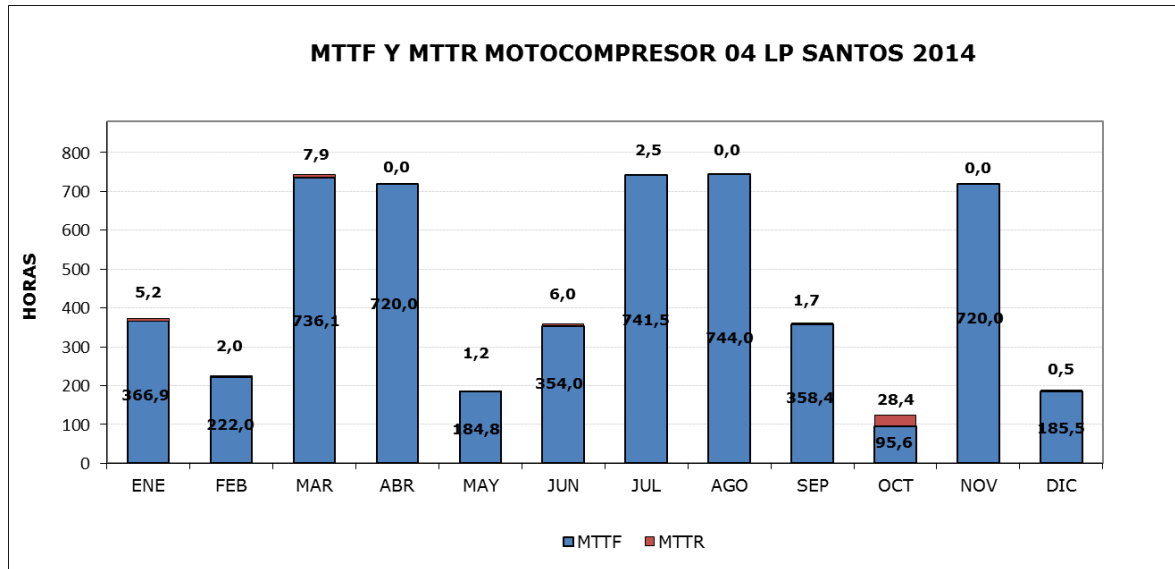
Figura 47. Disponibilidad y confiabilidad motocompresor 04LP año 2014



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

Para el año 2014 el promedio acumulado del MTTF fue de 452,40 Hrs; se registraron 218,74 Hrs de NO disponibilidad, una reducción considerable respecto a años anteriores.

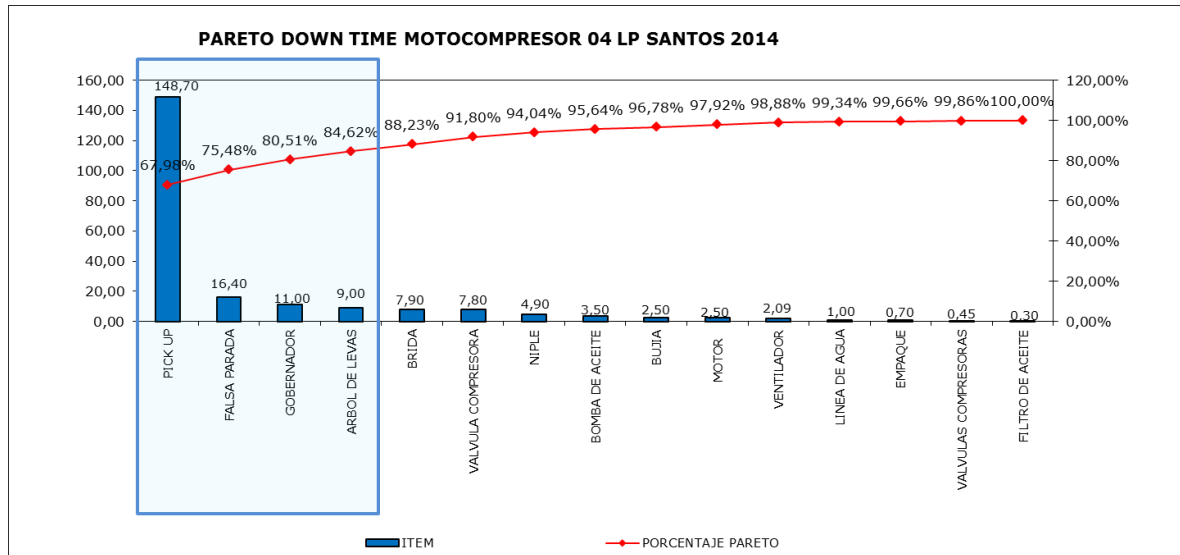
Figura 48. MTTF y MTTR motocompresor 04LP año 2014



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

El mal actor para el año 2014 del compresor fue el sensor de velocidad de operación “Pick up”. La disponibilidad y confiabilidad del equipo aumentó considerablemente en comparación al año 2012

Figura 49. Diagrama de pareto motocompresor 04LP año 2014



Fuente: Consorcio Confipetrol. Confiabilidad, Campo Provincia (Sabana de torres, Santander)

7.2.1 Análisis

En el año 2012 encontramos que la maquina 04LP se generaron 24 paradas las cuales generaron 560 horas de NO disponibilidad, dentro de los malos actores encontramos 10 paradas no programadas ocasionados por intervenciones al magneto los cuales generaron la mayor parte de la NO disponibilidad correspondiente a este año. En el año 2013 encontramos que en la maquina se generaron 15 paradas no programadas generando 477 horas de No disponibilidad (hasta el mes de Junio), incluyendo las horas no programas y la parada debido a la falla catastrófica en el cigüeñal por paso de líquidos en gas de compresión. En el año 2014 encontramos que en la maquina se generaron en total 27 paradas no programadas generando una No disponibilidad de 219 horas.

Para realizar los cálculos pertinentes se tiene que un scf (pie cubico estándar) equivale aproximadamente a 1000 BTU (unidades térmicas que miden la energía en el gas natural)⁵.

El motocompresor 04LP comprime aproximadamente 3.2 Mscf (millón de pies cúbicos estándar) de gas por día, para convertir 3.2 Mscf de gas a unidades térmicas caloríficas que miden la energía (BTU) en el gas natural tenemos la siguiente formula:

$1 Scf = 1000 Btu$ El valor es necesariamente una aproximación, pues las diferentes calidades de petróleo tienen poderes caloríficos ligeramente distintos⁶.

$$3.2 Mscf = x Btu$$

$$X Btu = 3.2 Mscf * 1000 Btu/1Kscf$$

$$3.200 MBtu = 3.2 Mscf$$

Se concluye que el motocompresor 04LP funcionando a plena carga y 24 horas al día entrega alrededor de 3.200 millones de BTU por día.

Si consideramos el valor de \$7749.25 pesos M/cte por millón de BTU⁷ podemos calcular los costos por NO disponibilidad, como se muestra en la tabla 5.

⁵ Gas natural. Medida. BTU http://www.ehowenespanol.com/cuantos-btu-hay-pie-cubico-gas-natural-sobre_179518/

⁶ Barril equivalente de petróleo. https://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo

⁷ Gas natural precio mensual. Peso colombiano por Millones de BTU. <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=gas-natural&moneda=cop>

Tabla 5. Calculo de costos asociados a NO disponibilidad de motocompresor 04LP.

Año	2012	2013	2014
Horas NO Disponibilidad	560	477	219
Días NO Disponibilidad	23.33	19.88	9.13
Costos (pesos) NO disponibilidad	\$ 578,464,320	\$ 492,727,644	\$ 226,220,868

Teniendo en cuenta estos valores podemos apreciar la disminución de costos por NO disponibilidad para el año 2014, año para el cual la maquina tenia instalado sistema de control electrónico, en comparación con los costos del año 2012 en donde la maquina aun poseía sistema de control neumático. Para el año 2013 los costos calculados corresponden a los meses de enero a junio previa ocurrencia del daño en el cigüeñal.

7.3 COSTOS POR INSTALACIÓN

Los costos asociados a la instalación se dividen en tres grupos; materiales, administrativos/nómina y diferida por NO disponibilidad.

De acuerdo a las necesidades se enlistan repuestos requeridos para el cambio de componentes que requiere el nuevo sistema de control, se encuentran incluidos instrumentos, accesorios eléctricos, accesorios para tubería y elementos para el tablero de control. A continuación se relaciona el APL (listado de partes a solicitar) de los materiales requeridos para la instalación del sistema de control electrónico:

Tabla 6. APL componentes sistema de control electrónico

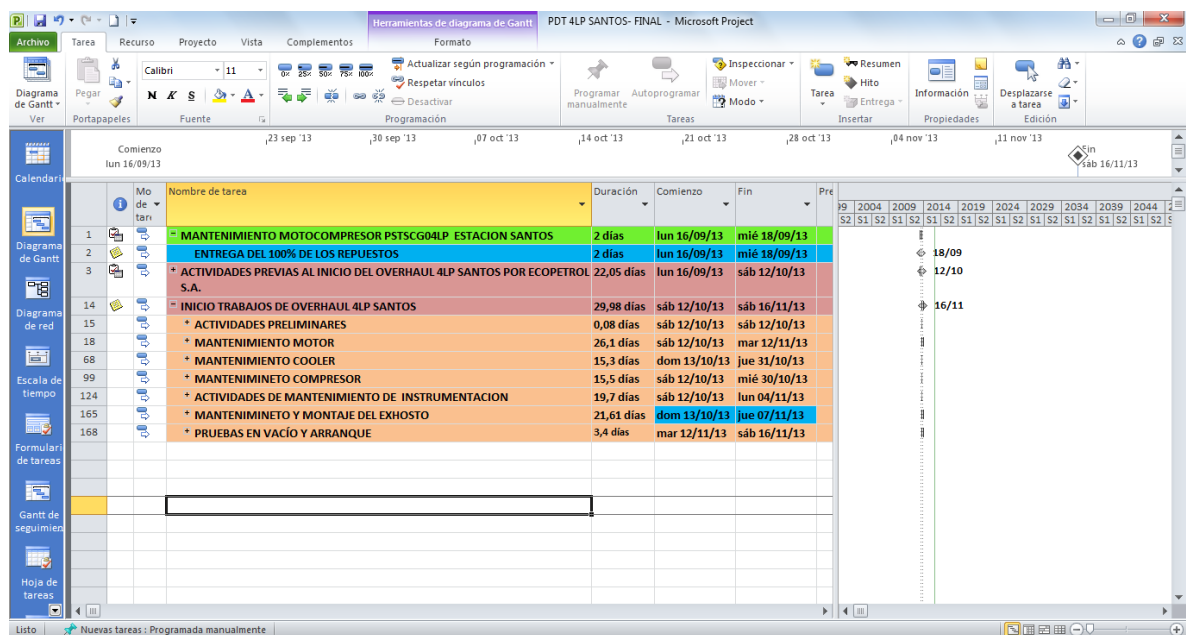
Cant.	Unidad de Medida	Código	Description	Numero de parte	Nemonico	Valor Unitario	Valor Total
1	EA	3895075	HALL-EFFECT PICKUP"PULSED PICKUP"	591014-4	ALTRONIC	\$ 411,493	\$ 411,493
1	EA	4187100	CABLE CABLE ASSEMBLY, SHIELDED 96 IN, 90	593057-96	ALTRONIC	\$ 372,831	\$ 372,831
2	EA	4187076	TRANSDUCER, MOTIONAL PICKUP, SIZE:5/8 IN- 18 X 3.00 IN	691118-4	ALTRONIC	\$ 341,878	\$ 683,756
2	EA	4195467	HARNESS PARA PICK-UP MAGNETICO	593054-96	ALTRONIC	\$ 360,322	\$ 720,644
12	EA	3921020	COIL, IGNITION, IGNITION COIL RED (BOBINA)	P-591-010	ALTRONIC	\$ 165,712	\$ 1,988,544
12	EA	3920980	SPARK PLUG 7/8 IN-18 MASSIVE 3 PRONG (BUJIAS)	L2252B	ALTRONIC	\$ 68,372	\$ 820,464
12	EA	4187118	CONECTOR PARA BUJIA	ST-33XL	ALTRONIC	\$ 51,966	\$ 623,592
20	FT	2506103	CABLE PARA BUJIA SECUNDARIO	503186-100	ALTRONIC	\$ 148,214	\$ 2,964,280
12	EA	4265161	TERMINAL, LUG (CONECTOR ALUMINIO)	504040	ALTRONIC	\$ 2,041	\$ 24,492
7	EA	4187134	TRANSDUCER PRESSURE TRANSDUCTOR 0-100 PSI, VOLTAGE:5	691201-100	ALTRONIC	\$ 411,295	\$ 2,879,065
1	EA	4187142	TRANSDUCER PRESSURE TRANSDUCTOR 0-300 PSI, VOLTAGE:5	691201-300	ALTRONIC	\$ 404,786	\$ 404,786
2	EA	4187167	TRANSDUCER PRESSURE TRANSDUCTOR 0-500 PSI, VOLTAGE:5	691201-500	ALTRONIC	\$ 445,605	\$ 891,210
1	EA	4187191	TRANSDUCER PRESSURE TRANSDUCTOR 0-2000 PSI, VOLTAGE:5	691201-200	ALTRONIC	\$ 384,738	\$ 384,738
550	FT	5485891	TRANSDUCER, ELECTRICAL :CABLE PARA TRANS	693008-50	ALTRONIC	\$ 27,653	\$ 15,209,150
1	EA	4187217	MONITOR, TEMPERATURE, MODEL: DSM-43924DUS, POINTS: 24	DSM-43924	ALTRONIC	\$ 3,312,839	\$ 3,312,839
1	EA	4517389	DISPLAY MODULE	DE-3000	ALTRONIC	\$ 2,212,847	\$ 2,212,847
1	EA	4187084	DISPLAY UNIT, CPU-95 DISPLAY	791909-1	ALTRONIC	\$ 1,946,855	\$ 1,946,855
1	EA	4517405	FIRST TERMINAL MODULE (30 INPUT, DE-3000 TERMINAL MODULE)	691171-1	ALTRONIC	\$ 3,364,601	\$ 3,364,601
1	EA	3920908	POWER MODULE, POWER SUPPLY MODULE 24 VDC	691122-1	ALTRONIC	\$ 819,654	\$ 819,654
1	EA	6441851	UNIT, CENTRAL PROCESSOR (CPU), CPU-95 UNIT;16-OUTPUT MODULE	791963-16A	FTC	\$ 7,027,289	\$ 7,027,289
1	EA	6442537	CPU-95 EVS POWER SUPPLY	791911-1	FTC	\$ 1,892,474	\$ 1,892,474
1	EA	4265237	HARNESS, ELECTRICAL EQUIPMENT CPU-95 TO COILS	293026-16	ALTRONIC	\$ 570,455	\$ 570,455
1	EA	3920972	CABLE ASSEMBLY, POWER, ELECTRICAL CABLE ASSEMBLY	693115-1	ALTRONIC	\$ 18,382	\$ 18,382
1	EA	4421962	KIT, MOUNTING MOUNTING ADAPTOR KIT	790005	ALTRONIC	\$ 875,669	\$ 875,669
1	KT	6237994	KIT, MOUNTING, RAIL MOUNTING, KIT	515010-KT	ALTRONIC	\$ 19,470	\$ 19,470
1	EA	4490678	SENSOR, SENSOR CABLE FOR ALTRONIC VIBRATION	693134-6	ALTRONIC	\$ 124,501	\$ 124,501
12	EA	4187225	THERMOCOUPLE DIA:3/8 IN LONG:12 IN, RACOR 1/2 NPT	TIPO K-L	ALTRONIC	\$ 443,102	\$ 5,317,224
10	EA	4187233	THERMOCOUPLE DIAMETRO: 3/8 IN; LONGITUD INSER:4 IN;	TIPO K-R	ALTRONIC	\$ 405,777	\$ 4,057,770
1	EA	6441224	PANEL :PANEL DE CONTROL	ALTP1-1709250-AVS	FTC	\$ 45,959,096	\$ 45,959,096
1	EA	6443295	HARNESS: SHIELDED 48 IN;	393013-2	FTC	\$ 458,701	\$ 458,701
1	EA	2408375	REGULATOR, PRESSURE BODY 1/4 NPT, MAXI PRESS INLET 250 PSIG	67CF-1663-38550	FISHER-C	\$ 464,354	\$ 464,354
1	EA	4571139	ELECTROVALVULA DE 2" 24V. VOL 2 VIAS.	EV220B-50G	DANFOSS	\$ 1,229,200	\$ 1,229,200
1	EA	4422200	VALVE, SOLENOID PIPE SIZE:1/4" 24 VDC, WAY:3/2 POS	EVIP-2	DANFOSS	\$ 250,837	\$ 250,837
3	EA	83824	TEE, PIPE SIZE:1 IN CLASS:3000 ENDS:THD	70-7125-301	CAU	\$ 10,288	\$ 30,864
11	EA	83808	TEE, PIPE SIZE:1/2 IN CLASS:3000 ENDS:THD	70-7125-302	CAU	\$ 8,243	\$ 90,673
100	MT	2243707	WIRE, ELECTRICAL CALIBRE:16 AWG VOLTAJE:600V TIPO:TFF	0460007H BLANCO	CENFELSA	\$ 341	\$ 34,100
21	JT	223073	CONDUIT, METAL, RIGID SIZE:3/4 IN WTH:0.107", TIPO:RMC	RIGID-3/4	COLMENA	\$ 29,135	\$ 611,835
15	JT	223081	CONDUIT, METAL, RIGID SIZE:1" WTH:0.126 IN TIPO:RMC	1X3	COLMENA	\$ 41,061	\$ 615,915
11	EA	1966	BOX, CONDUIT OUTLET CONDULETA TIPO LB, DE 3/4 IN	LB-27	CROUSEHI	\$ 15,628	\$ 171,908
8	EA	2337	TEE, ELECTRICAL CONDUIT, CONDULETA TIPO T, DE 3/4 IN	T27	CROUSEHI	\$ 17,527	\$ 140,216
28	EA	3137	UNION, ELECTRICAL CONDUIT UNIVERSAL CONDUIT DE 3/4 IN, TIPO UNY	UNY-205	CROUSEHI	\$ 18,775	\$ 525,700
6	EA	3145	UNION, ELECTRICAL CONDUIT UNION UNIVERSAL DE 1 IN NPT	UNY305	CROUSEHI	\$ 23,024	\$ 138,144
6	EA	221911	SEALING FITTING, ELECTRICAL CONDUIT SELLO CORTAFUEGO, DE 3/4 IN	EYS-21	CROUSEHI	\$ 14,476	\$ 86,856
11	EA	1953090	BOX, CONDUIT OUTLET CONDULETA TIPO LBD, DE 1 IN, NPT	LBD-3300	CROUSEHI	\$ 90,123	\$ 991,353
4	EA	5052741	BOX, CONDUIT OUTLET CONDULETA TIPO LL DE 3/4", CLASE 1 DIVISION 1	OELL2	CROUSEHI	\$ 65,819	\$ 263,277
12	EA	2929024	VALVE, BALL SIZE:1 IN, CLASS:3000, ENDS:THD	1"FP-CT3000-	AOP-INC	\$ 171,132	\$ 2,053,584
1	EA	2238	BOX, CONDUIT OUTLET, CONDULETA TIPO LR, DE 3/4 IN	IMLR-2	ILURAM	\$ 17,396	\$ 17,396
3	EA	222364	CONECTOR AISLADO, TIPO LTB DE 3/4 IN	CR-2	ILURAM	\$ 4,433	\$ 13,299
3	EA	4971578	COUPLING ACOUPLE FLEXIBLE A PRUEBA DE EXPLOSION 1"	XAC60-3	ILURAM	\$ 208,308	\$ 624,924
3	EA	2153377	SWITCH, ELECTRONIC SWITCH PARA CONTROL DE NIVEL DE SCRUBBER	LS200	MURPHY	\$ 368,527	\$ 1,105,581
3	EA	2153468	SWITCH, VIBRATION CONTACTOS DOBLES SPDT,5A @480 VAC	VS-2	MURPHY	\$ 288,133	\$ 864,399
1	EA	2503969	SWITCH, LIQUID LEVEL CONTROL DE NIVEL DE LIQUIDOS	EL150K1	MURPHY	\$ 160,480	\$ 160,480
1	EA	2883346	ROD, LEVEL LEVEL OIL CONTROL, LOW SWITCH CONTACTS	LM-301-EX	MURPHY	\$ 521,206	\$ 521,206
3	EA	2888709	FLOAT, NET :FLOAT CHAMBER EXTERNAL	15-05-1098	MURPHY	\$ 1,006,428	\$ 3,019,284
3	EA	4494498	SWITCH, LIQUID LEVEL SWITCH NIVEL AUTOMATICO SERIE LS200N	15700761	MURPHY	\$ 1,041,642	\$ 3,124,926
1	EA	4734976	SWITCH, LIQUID LEVEL :LUBRICATOR OIL LEV	EL150EX	MURPHY	\$ 684,643	\$ 684,643
1	EA	4998373	POWER SUPPLY, UNINTERRUPTABLE UPS DE 700VA TECNOLOGIA DOBLE	PW9130	POWER-WA	\$ 1,200,000	\$ 1,200,000
6	EA	76323	TEE, TUBE SIZE:1/4 IN, OD X 1/4 IN, OD	SS-400-3	SWAGelok	\$ 70,846	\$ 425,076
2	EA	76364	ADAPTER, STRAIGHT, PIPE TO TUBE SIZE:1/2 IN,OD X 1/2 IN,NPTM	SS-810-1-8	SWAGelok	\$ 43,505	\$ 87,010
5	EA	528265	UNION, TUBE SIZE:3/8 IN,OD, MATERIAL:S.S.316	762L-3/8-SS	SWAGelok	\$ 45,508	\$ 227,540
6	EA	528323	ADAPTER, STRAIGHT, PIPE TO TUBE SIZE:1/4 IN,OD X 1/8 IN,NPTM	SS-400-1-2	SWAGelok	\$ 15,095	\$ 90,570
60	FT	609644	TUBE, METALLIC OD:1/4 IN, WTH:0.035 IN, LGTH:20 FT	316L-1/4-035	SWAGelok	\$ 6,002	\$ 360,120
8	EA	1039171	ELBOW, PIPE TO TUBE SIZE: 3/8 IN OD X 1/4 IN NPTM	SS-600-2-4	SWAGelok	\$ 44,658	\$ 357,264
8	EA	761999	ADAPTER, STRAIGHT, PIPE TO TUBE SIZE:1/4 IN, OD X 1/4 IN, NPTM	SS-400-1-4	SWAGelok	\$ 19,146	\$ 153,168
4	EA	762013	ADAPTER, STRAIGHT, PIPE TO TUBE SIZE:3/8 IN,OD X 1/4 IN,NPTM	SS-600-1-4	SWAGelok	\$ 30,872	\$ 123,488
4	EA	762237	ELBOW, PIPE TO TUBE SIZE:1/4 IN,OD X 1/4 IN,NPTM	SS-400-2-4	SWAGelok	\$ 40,618	\$ 162,472
35	EA	762245	ELBOW, TUBE SIZE:1/2 IN,OD X 1/2 IN,NPTM	SS-810-2-8	SWAGelok	\$ 66,533	\$ 2,328,655
2	EA	762617	TEE, TUBE SIZE:1/2 IN,OD X 1/2 IN,NPTM	SS-810-3-8TMT	SWAGelok	\$ 124,108	\$ 248,216
15	EA	762641	UNION, TUBE SIZE:1/4 IN, OD X 1/4 IN, OD	SS-400-6	SWAGelok	\$ 31,977	\$ 479,655
3	ST	2107480	FERRULE, SWAGE, TUBE COUPLING FERRULE PAK 1/4 IN O.D STAINLESS	SS-400-SET-10	SWAGelok	\$ 47,383	\$ 142,149
16	JT	2377810	TUBE, METALLIC OD:1/4 IN, GAWTH:0.065 IN, LGTH:20 FT	SS-T4-S-065-20	SWAGelok	\$ 185,804	\$ 2,972,864
8	EA	2799906	ELBOW, TUBE SIZE:3/8 IN, OD X 1/8 IN, NPTM	SS-600-2-2	SWAGelok	\$ 40,965	\$ 327,720
2	JT	2859437	TUBE, METALLIC OD:3/8 IN, GAGE:0.065 IN, LGTH:20 FT	SS-T6-S-065-20	SWAGelok	\$ 255,851	\$ 511,702
1	EA	4926374	CONECTOR FLEXICONDUIT 1 IN NPT, CODO			\$ 5,400	\$ 5,400

\$ 134,394,895

Fuente: Mincom Desktop Ellipse ECP PRD 6.3.3

Para la instalación del sistema de control se estiman gastos administrativos (transporte, alimentación, elementos de protección personal, hidratación y consumibles) y de nómina por un valor aproximado de \$40.000.000, teniendo en cuenta los recursos relacionados en el programa de trabajo o PDT (planeador, supervisor, analista Ellipse, tornero, dos parejas de instrumentistas y el apoyo de una pareja de soldadores para trabajos específicos y esporádicos).

Figura 50. PDT Overhaul motocompresor 04LP



Fuente: Gerencia Técnica Consorcio Confipetrol

Durante el tiempo (20 días calendario) en que se estima la duración de la instalación del nuevo sistema de control, el motocompresor no estará disponible para la operación. Para conocer la diferida de producción por no tener el equipo en servicio, a continuación se realizan los cálculos para hallar la NO disponibilidad.

$$\text{\$ NO disponibilidad} = 20 * 3200 * 7747.29$$

$$\text{\$ NO disponibilidad} = \$495.826.560$$

Dónde:

20 = # días duración instalación

3200 = millones de BTU por día dejados de comprimir

7749.25 = valor millón de BTU

Tabla 7. Resumen costos por instalación

	Materiales	Administrativos/ Nomina	NO disponibilidad	Total
Costos por instalación	\$ 134,394,895	\$ 40,000,000	\$ 495,826,560	\$ 670,221,455

7.4 COSTOS POR REPARACIÓN

En el año 2014, se redujeron sustancialmente las paradas no programadas al comprar los valores de NO disponibilidad del motocompresor. La instalación del sistema de control electrónico en los motocompresores se hace necesaria para incrementar la confiabilidad operativa de la máquina; permite llevar trazabilidad de las variables críticas para la operación, lo cual es importante para aumentar la predicción de posibles fallas reduciendo paradas prolongas del equipos y reduciendo perdidas por NO disponibilidad.

De acuerdo a las fallas presentadas en los motocompresores 12SVG 13LP (junio de 2012) de la estación suerte y 04LP (junio de 2013) de la estación santos, en las cuales se presentaron fallas clasificadas como de gran impacto para la integridad, por los daños causados en el cigüeñal del equipo a raíz de una detonación. En la tabla 8 se relaciona el listado de repuestos mínimos esenciales requeridos para reemplazar y poder dejar disponible el equipo.

Tabla 8. Repuestos mínimos esenciales a reemplazar por daño en cigüeñal.

Cant.	Unidad de Medida	Código	Descripción	Numero de parte	Nemonico	Valor Unitario	Valor Total
12	ST	2633279	GASKET SET.POWER CYLINDER (JUEGO EMPAQUES CILINDRO MOTRIZ)	13846706-16	DRESSER	\$ 368,000	\$ 4,416,000
48	EA	2711984	PACKING, POWER CYLINDER WATER INLET (EMPAQUE MANIFOLD AGUA)	20A11CM331	DRESSER	\$ 2,945	\$ 141,360
3	DM	4090130	LUBRICATING OIL, ENGINE (LUBRICANTE MOTORES A GAS, SAE 40)	M-PEGASUS 805 (112617)	EXXONMOB	\$ 1,449,088	\$ 4,347,264
14	EA	4572392	FILTER ELEMENT, FLUID (FILTRO DE ACEITE)	FS-IP2445-T	FILTERSY	\$ 48,840	\$ 683,760
1	EA	2711182	CASQUETE DE BANCADA ANCHO	1W76569	DRESSER	\$ 3,058,881	\$ 3,058,881
1	EA	2053601	CASQUETE DE BANCADA ANGOSTO	1W76570	DRESSER	\$ 2,480,637	\$ 2,480,637
2	EA	2053726	POWER VALVE - INLET OR EXHAUST (VALVULA MOTRIZ)	R13975	DRESSER	\$ 783,582	\$ 1,567,164
2	EA	2053528	GUIDE, VALVE STEM (GUIA VALVULA MOTRIZ)	1R23351P1	DRESSER	\$ 1,013,072	\$ 2,026,144
2	EA	2053734	PIN, HOLLOW (BUJE DE PISTON)	W36669	DRESSER	\$ 198,879	\$ 397,758
1	EA	2633352	CASQUETE DE BIELA	1W33600AP2	DRESSER	\$ 2,618,164	\$ 2,618,164
1	EA	2053569	PISTON	1W45240	DRESSER	\$ 10,686,362	\$ 10,686,362
1	EA	2631364	CRANKSHAFT (CIGÜEÑAL)	1W106910	DRESSER	\$ 103,376,110	\$ 103,376,110
						Total	\$ 135,799,604

Fuente: Mincom Desktop Ellipse ECP PRD 6.3.3

Adicional a los costos asociados a repuestos se debe tener en cuenta, que algunos de ellos como por ejemplo el cigüeñal y el pistón, no son de fácil consecución, no tienen parámetros de reposición y para su compra se debe realizar solicitud a fabrica (dresser-rand) con tiempo mínimo de llegada de aproximadamente 3 meses en el ciclo normal de compras de Ecopetrol S.A. Durante el tiempo en que se estima la duración de la llegada de los repuestos, el motocompresor no estará disponible para la operación. Para conocer la diferida de producción por no tener el equipo en servicio, se realizaran los cálculos para hallar la NO disponibilidad.

$$\text{\$ NO disponibilidad} = 90 * 3200 * 7747.29$$

$$\text{\$ NO disponibilidad} = \text{\$}2.231.219.520$$

90 = # días espera repuestos

3200 = millones de BTU por día dejados de comprimir

7749.25 = valor millón de BTU

Para reemplazar el cigüeñal y los componentes afectados del motocompresor se estiman gastos administrativos (transporte, alimentación, elementos de protección personal, hidratación y consumibles) y de nómina por un valor aproximado de \$50.000.000, teniendo en cuenta los recursos relacionados en el programa de

trabajo o PDT (planeador, supervisor, analista Ellipse, tornero, tres parejas de mecánicos, y el apoyo de una pareja de soldadores, de instrumentistas y de electricistas para trabajos específicos y esporádicos).

Tabla 9. Resumen costos por instalación

	Materiales	Administrativos/ Nomina	NO disponibilidad	Total
Costos por reparación	\$ 135,799,604	\$ 50,000,000	\$ 2,231,219,520	\$ 2,417,019,124

Una vez realizados los cálculos de NO disponibilidad podemos determinar inicialmente que la confiabilidad y la disponibilidad del equipo aumento considerablemente luego de instalar el sistema de control electrónico como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Disponibilidad y confiabilidad motocompresor 04LP

Año	2012	2014
Disponibilidad	92.04%	96.44%
Confiabilidad	93.73%	97.53%

Con los cálculos realizados de instalación y reparación podemos definir lo siguiente: el costo beneficio es una proyección económica en un tiempo establecido que permite evaluar si es posible disminuir el riesgo de una falla por medio de actividades de mantenimiento, para nuestro caso mejorativo, y contrastarla con el costo de dicha implementación. Una de estas fallas que se puede evitar es la detonación, por las mejoras que trae consigo la instalación de un sistema de ignición con CPU-95. Tanto los costos por instalación y reparación incluyen los gastos administrativos y de nómina, diferida de producción por la NO disponibilidad del motocompresor y costos por materiales. Los materiales requeridos para la instalación son solicitados con antelación por la debida

planeación a diferencia de los materiales necesarios para una reparación, son solicitados en el momento de la falla, lo que conlleva a un aumento de un 450% aproximadamente en la NO disponibilidad del equipo como se evidencia en la tabla 11.

Tabla 11. Comparación costos por instalación y reparación.

	Materiales	Administrativos/ Nomina	NO disponibilidad	Total
Costos por instalación	\$ 134,394,895	\$ 40,000,000	\$ 495,826,560	\$ 670,221,455
Costos por reparación	\$ 135,799,604	\$ 50,000,000	\$ 2,231,219,520	\$ 2,417,019,124

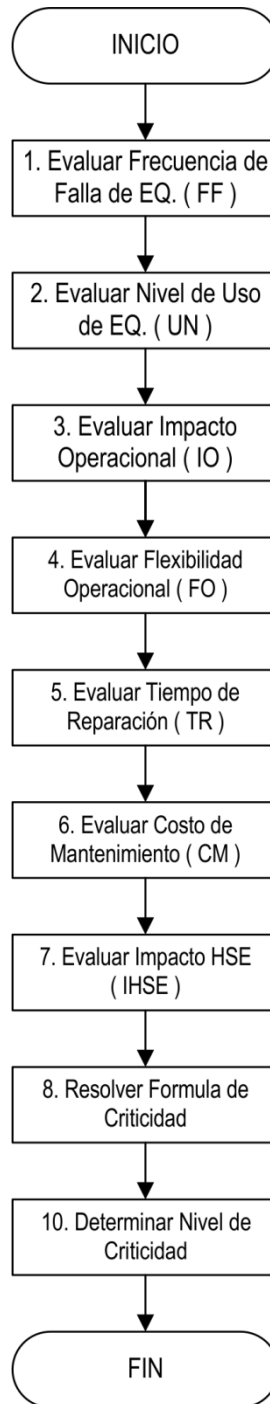
8. ANALISIS DE CRITICIDAD

El análisis de criticidad es una metodología que se utiliza para establecer de una cuantitativa el nivel de importancia de un activo en una compañía, con el fin de enfocar los recursos económicos y humanos a los equipos que más pueden impactar en la operación, finanzas y seguridad y ambiente.

Además de establecer los niveles de criticidad de los equipos, es sabido en el medio que en cualquier industria, empresa o compañía no posee recursos ilimitados para realizar mantenimientos, es más, se puede decir que cada se recorta el presupuesto del área de mantenimiento, por lo tanto, determinar la criticidad de los activos, tal y como se dijo anteriormente permite enfocar los esfuerzos y recursos a aquellos que impactan en aspectos operativos, finanzas y HSE.

El flujograma que se debe realizar para evaluar la criticidad es el siguiente:

Figura 51. Flujograma de evaluación de criticidad



La criticidad de las partes mantenibles se evalúan con los siguientes criterios:

Tabla 12. Criterios de criticidad

No.	Actividad	Descripción de la Actividad								
1	Evaluar Frecuencia de Fala -FF- de EQ.	<p>Revisar el histórico del equipo y determinar cuántas veces falla al año. En el caso que no exista información relevante para realizar el análisis, se puede estimar a través en la experiencia adquirida en la empresa o en la industria.</p> <p>Evaluar el número de fallas en la siguiente tabla, seleccionar el peso de FF</p> <p>Nota: Cuando el equipo es nuevo, evaluarlo con la máxima escala.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Frecuencia de Falla- FF</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>FF > 3 [Fallas / Año]</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>1 < FF ≤ 3 [Fallas / Año]</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>FF ≤ 1 [Fallas / Año]</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Frecuencia de Falla- FF	5	FF > 3 [Fallas / Año]	3	1 < FF ≤ 3 [Fallas / Año]	1	FF ≤ 1 [Fallas / Año]
Categoría	Frecuencia de Falla- FF									
5	FF > 3 [Fallas / Año]									
3	1 < FF ≤ 3 [Fallas / Año]									
1	FF ≤ 1 [Fallas / Año]									
2	Evaluar Nivel de Uso -NU- de EQ.	<p>Determinar cuántas veces se utiliza del equipo por año o mes.</p> <p>Evaluar el Nivel de Uso en la siguiente tabla, seleccionar el peso de NU.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>Nivel de Uso - NU</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>NU > 120 [Días / Año] ó NU > 10 [Días / Mes]</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>30 < NU ≤ 120 [Días / Año] ó 1 < NU ≤ 10 [Días / Mes]</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>NU ≤ 30 [Días / Año] ó NU ≤ 1 [Días / Mes]</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	Nivel de Uso - NU	5	NU > 120 [Días / Año] ó NU > 10 [Días / Mes]	3	30 < NU ≤ 120 [Días / Año] ó 1 < NU ≤ 10 [Días / Mes]	1	NU ≤ 30 [Días / Año] ó NU ≤ 1 [Días / Mes]
Categoría	Nivel de Uso - NU									
5	NU > 120 [Días / Año] ó NU > 10 [Días / Mes]									
3	30 < NU ≤ 120 [Días / Año] ó 1 < NU ≤ 10 [Días / Mes]									
1	NU ≤ 30 [Días / Año] ó NU ≤ 1 [Días / Mes]									

No.	Actividad	Descripción de la Actividad								
3	Evaluar Impacto Operacional –IO-	<p>Determinar cómo afecta el desarrollo del proceso la falla del equipo.</p> <p>Evaluar el Impacto Operacional en la siguiente tabla, seleccionar el peso de IO.</p> <table border="1" data-bbox="643 485 1508 747"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="643 485 1508 554">Categoría Impacto Operacional - IO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="643 554 805 623">5</td> <td data-bbox="805 554 1508 623">Parada total del proceso</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 623 805 690">3</td> <td data-bbox="805 623 1508 690">Afecta significativamente el desarrollo del proceso</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 690 805 747">1</td> <td data-bbox="805 690 1508 747">No genera ningún efecto significativo sobre el proceso</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría Impacto Operacional - IO		5	Parada total del proceso	3	Afecta significativamente el desarrollo del proceso	1	No genera ningún efecto significativo sobre el proceso
Categoría Impacto Operacional - IO										
5	Parada total del proceso									
3	Afecta significativamente el desarrollo del proceso									
1	No genera ningún efecto significativo sobre el proceso									
4	Evaluar Flexibilidad Operacional – FO-	<p>Determinar la facilidad que se tiene para reparar o reemplazar el equipo sin generar costos o pérdidas en el proceso.</p> <p>Evaluar la Flexibilidad Operacional en la siguiente tabla, seleccionar el peso de FO.</p> <table border="1" data-bbox="643 1037 1508 1299"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="643 1037 1508 1106">Categoría Flexibilidad Operacional - FO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="643 1106 805 1176">5</td> <td data-bbox="805 1106 1508 1176">No existe equipo o repuesto de reemplazo</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1176 805 1243">3</td> <td data-bbox="805 1176 1508 1243">Equipo o repuesto compartido con otro proceso</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1243 805 1299">1</td> <td data-bbox="805 1243 1508 1299">Existe equipo o repuesto de reemplazo</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría Flexibilidad Operacional - FO		5	No existe equipo o repuesto de reemplazo	3	Equipo o repuesto compartido con otro proceso	1	Existe equipo o repuesto de reemplazo
Categoría Flexibilidad Operacional - FO										
5	No existe equipo o repuesto de reemplazo									
3	Equipo o repuesto compartido con otro proceso									
1	Existe equipo o repuesto de reemplazo									

No.	Actividad	Descripción de la Actividad								
5	Evaluar Tiempo de Reparación –TR-	<p>Estimar cuanto tiempo podría tomar la reparación o el reemplazo del equipo en falla.</p> <p>Evaluar el Tiempo de Reparación en la siguiente tabla, seleccionar el peso de TR.</p> <table border="1" data-bbox="643 516 1510 827"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="643 516 1510 585">Categoría Tiempo de Reparación o Reposición - TR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="643 585 805 699">5</td> <td data-bbox="805 585 1510 699">TR > 30 [Días] y/o Servicio en el Exterior de Colombia</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 699 805 762">3</td> <td data-bbox="805 699 1510 762">10 < TR ≤ 30 [Días]</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 762 805 827">1</td> <td data-bbox="805 762 1510 827">TR ≤ 10 [Días]</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría Tiempo de Reparación o Reposición - TR		5	TR > 30 [Días] y/o Servicio en el Exterior de Colombia	3	10 < TR ≤ 30 [Días]	1	TR ≤ 10 [Días]
Categoría Tiempo de Reparación o Reposición - TR										
5	TR > 30 [Días] y/o Servicio en el Exterior de Colombia									
3	10 < TR ≤ 30 [Días]									
1	TR ≤ 10 [Días]									
6	Evaluar Costo de Mantenimiento – CM-	<p>Estimar los costos de reparación del equipo, sin incluir las pérdidas generadas por la falla del equipo. En caso de no conocerse, utilizar el 30 % del costo del equipo para realizarla evaluación.</p> <p>Evaluar los Costos de Mantenimiento en la siguiente tabla, seleccionar el peso de CM.</p> <table border="1" data-bbox="643 1140 1510 1402"> <thead> <tr> <th colspan="2" data-bbox="643 1140 1510 1209">Categoría Costos de Mantenimiento - CM</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="643 1209 805 1276">5</td> <td data-bbox="805 1209 1510 1276">CM > COP 20 SMMLV</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1276 805 1341">3</td> <td data-bbox="805 1276 1510 1341">COP 2 SMMLV < CM ≤ COP 20 SMMLV</td> </tr> <tr> <td data-bbox="643 1341 805 1402">1</td> <td data-bbox="805 1341 1510 1402">CM ≤ COP 2 SMMLV</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría Costos de Mantenimiento - CM		5	CM > COP 20 SMMLV	3	COP 2 SMMLV < CM ≤ COP 20 SMMLV	1	CM ≤ COP 2 SMMLV
Categoría Costos de Mantenimiento - CM										
5	CM > COP 20 SMMLV									
3	COP 2 SMMLV < CM ≤ COP 20 SMMLV									
1	CM ≤ COP 2 SMMLV									

No.	Actividad	Descripción de la Actividad																								
7	Evaluar Impacto HSE –IHSE-	<p>Revisar la matriz de criticidad de equipos de HSE y seleccionar la criticidad HSE del equipo.</p> <p>Evaluar la Criticidad HSE en la siguiente tabla, seleccionar el peso de IHSE.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Categoría Impacto HSE – IHSE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>Criticidad HSE Alta</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Criticidad HSE Media</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Criticidad HSE Baja o No Critico HSE</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría Impacto HSE – IHSE		5	Criticidad HSE Alta	3	Criticidad HSE Media	1	Criticidad HSE Baja o No Critico HSE																
Categoría Impacto HSE – IHSE																										
5	Criticidad HSE Alta																									
3	Criticidad HSE Media																									
1	Criticidad HSE Baja o No Critico HSE																									
8	Resolver Formula de Criticidad	<p>Con los valores de determinados desde el numeral 1 hasta 9, calcular el valor de criticidad asociado al equipo.</p> <p>Reemplazar en la fórmula de criticidad siguiente:</p> $\text{Nivel de Criticidad} = FF * \left(NU * \frac{\left[\frac{IO * FO}{2.5} * 60\% + \frac{IHSE}{0.5} * 40\% \right]}{0.5} * 80\% + \frac{CM * TR}{0.25} * 20\% \right)$																								
9	Determinar Nivel de Criticidad	<p>Determinar el nivel de criticidad del equipo según la siguiente tabla.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Nivel de Criticidad</th> <th colspan="4">Valores y Porcentajes Criticidad</th> </tr> <tr> <th>Mínimo</th> <th>Máximo</th> <th>% MIN</th> <th>% MAX</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>General</td> <td>0</td> <td>150</td> <td>0</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Esencial</td> <td>151</td> <td>350</td> <td>30</td> <td>70</td> </tr> <tr> <td>Critico</td> <td>351</td> <td>500</td> <td>70</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>	Nivel de Criticidad	Valores y Porcentajes Criticidad				Mínimo	Máximo	% MIN	% MAX	General	0	150	0	30	Esencial	151	350	30	70	Critico	351	500	70	100
Nivel de Criticidad	Valores y Porcentajes Criticidad																									
	Mínimo	Máximo	% MIN	% MAX																						
General	0	150	0	30																						
Esencial	151	350	30	70																						
Critico	351	500	70	100																						

A continuación se presenta la tabla del análisis de criticidad realizado a los elementos que componen el sistema de control automático del motocompresor 12SVG.

Tabla 13. Resultado de criticidad de los ítems mantenibles en el sistema de control

Item Mantenible	FF (Frecuencia de Falla)	NU (Nivel de Uso)	IO (Impacto Operacional)	FO (Flexibilidad Operacional)	TR (Tiempo de Reparacion)	CM (Costo de Mantenimiento)	IHSE (Impacto HSE)	Criticidad
CPU-95	1	5	5	5	5	5	1	74
Bujias	3	5	5	1	1	1	1	50
Transformador de Ignición	3	5	5	1	1	1	1	50
Cables secundarios	3	5	5	1	1	1	1	50
ElectroValvula	1	5	5	3	1	1	1	36
Termocupla	3	5	5	3	1	1	1	108
Transductor de Presion 0 / 100 psi	3	5	5	3	1	1	1	108
Transductor de Presion 0 / 500 psi	3	5	5	3	1	1	1	108
Transductor de Presion 0 / 3000 psi	3	5	5	3	1	1	1	108
Sensor Nivel Aceite	3	5	5	3	1	1	1	108
Sensor Nivel Agua	3	5	5	3	1	1	1	108
Sensor Nivel Liquidos	3	5	5	3	1	1	1	108
Switch Vibración Cooler	5	5	5	3	1	1	1	180
Switch Vibración Auxiliar	5	5	5	3	1	1	1	180
Switch Vibración Motor	5	5	5	3	1	1	1	180
Tarjeta de Datos	1	5	5	5	3	3	1	61
Tarjeta de Potencia	1	5	5	5	3	3	1	61

10. ANALISIS DE MODO DE FALLA Y EFECTO DE FALLA EN LOS ITEMS MANTENIBLES DEL SISTEMA DE CONTROL DEL MOTOCOMPRESOR 04LP

10.1 FUNCIONES

Según SAE JA 1012 se define función como “Lo que el usuario desea que realice un activo físico o sistema”, cabe recalcar que lo anterior se aplica en su contexto operacional. Los activos pueden tener funciones en dos tipos categorías, las cuales son primarias y secundarias:

- **Funciones Primarias:** Es la razón por la cual cualquier organización adquiere un activo o sistema.
- **Funciones Secundarias:** Se espera que el activo desarrolle otras funciones además de las primarias, estos son menos obvias que las primarias.

10.2 FALLA FUNCIONAL

Sucede cuando el activo opera por fuera de los parámetros de diseño u operación deseados por el usuario.

Según SAE JA 1012 la definición de modos de falla es “Un estado en que un activo físico o sistema ni se encuentra disponible para una función específica a un nivel de desempeño deseado”.

RCM lo realiza en dos niveles:

- **Primero** Identifica cuales son las circunstancias que origina la falla.
- **Segundo**, se debe preguntar que pueden causar que la falla en el activo.

10.3 MODO DE FALLA

Según SAE JA 1012 un modo de falla es “Un evento único, que causa una falla funcional”. También se puede describir de la siguiente manera es una causa posible que puede hacer que el activo se encuentre en estado de falla.

Muchas de las fallas funcionales son debidas a aplicarle esfuerzos a los activos por encima de lo que son capaces de resistir. Estos errores se pueden categorizar en los siguientes ítems:

- Operación Incorrecta
- Ensamblaje Incorrecto.
- Daño Externo

10.4 EFECTO DE FALLA

Según SAE JA 1012 “Es lo que ocurre cuando sucede un modo de falla”. En otras palabras es lo que trae consigo cuando la ocurrencia de un modo de falla tal y como lo experimenta el cliente. En ella se debe describir en la medida de lo posible lo siguiente:

- Evidencia de que ha ocurrido la falla anteriormente.
- Como afecta la seguridad y el medio ambiente
- Como afecta las operaciones o producción
- Evidencias de daños físicos que la falla ha causado anteriormente.
- Que debe realizarse para corregir la falla.

10.5 CONSECUENCIAS

Según SAE JA 1012 la consecuencia de falla se define como “Efectos que puede provocar un modo de falla o una falla múltiple”. Las consecuencias se pueden categorizar de la siguiente manera:

- Consecuencias de fallas ocultas
- Consecuencias ambientales y para la seguridad
- Consecuencias operacionales
- Consecuencias no operacionales

10.6 RESULTADO DE FMEA DE ITEMS MANTENIBLES Y TAREAS DE MANTENIMIENTO PROPUESTAS

Para el desarrollo de la metodología RCM se responden las siguientes siete preguntas propuestas por SAE JA 1011:

- Cuáles son las funciones del sistema y las normas asociadas?
- Como puede fallar el sistema para cumplir estas funciones?
- Que causa una falla funcional?
- Que pasa cuando ocurre una falla?
- Cuáles serían las consecuencias cuando ocurre la falla?
- Que se puede hacer para detectar y prevenir la falla?
- Que debería hacer cuando la tarea de mantenimiento proactiva no se puede establecer?

10.6.1 Sistema de Ignición

10.6.1.1 Funciones

Las funciones para el sistema de ignición se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 14. Funciones sistema de ignición

Ítem	Función	Código
CPU-95	Generar y distribuir corriente a bobinas	SI1
Bujías	Proporcionar Chispar a la precámara	SI2
Transformador de tensión	Elevar voltaje	SI3
Cables Secundarios	Conducir Corriente	SI4

10.6.1.2 Modos de Falla

Los modos de falla para el sistema de ignición se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 15. Modo de falla sistema de ignición

Modos de Falla		
DESCRIPCION	Código	Falla Oculta
Cambio brusco de temperatura	SI1A1	Si
Ausencia de chispa	SI1A2	Si
Cable abierto	SI1A3	Si
Daño de la tarjeta	SI1A4	Si
Mala conexión eléctrica /falsos contactos eléctricos	SI1A5	Si
Voltaje alimentación	SI1A6	Si

Mala calibración pick up cuenta dientes	SI1A7	Si
Mala sincronización en pick up efecto hall	SI1A8	Si
Mala sincronización en pick up reset	SI1A9	Si
Baja velocidad arranque	SI1A10	Si
Referencia a tierra	SI1A11	Si
Mala programación eeprom	SI1A12	Si
Humedad	SI1A13	Si
Desgaste electrodos	SI2A1	Si
Suciedad	SI2A2	Si
Sulfatación	SI2A3	Si
Mala calibración (gaps)	SI2A4	Si
Variación características eléctricas o magnitudes	SI2A5	Si
Desgaste de recubrimiento o deterioro	SI2B1	Si
Cable abierto	SI3A1	Si
En cortocircuito	SI3A2	Si
Mala señal cpu-95	SI3A3	Si
Sulfatación	SI3A4	Si
Variación características eléctricas o magnitudes	SI3A5	Si
Polaridad invertida	SI3B1	Si
Cable suelto, cortocircuito	SI4A1	Si
Humedad	SI4B1	Si
Perdida de aislamiento	SI4C1	Si

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el sistema de ignición se presenta en la Tabla 29.

10.6.2 Sistema de Gas Combustible

10.6.2.1 Funciones

Las funciones para el sistema de gas combustible se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 16. Funciones sistema gas combustible

Ítem	Función	Código
Electrovalvula	Permitir paso gas suministro	SGC1

10.6.2.2 Modos de Falla

Los modos de falla para el sistema de gas combustible se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 17. Modo de falla sistema gas combustible

Modos de Falla		
DESCRIPCION	Código	Falla Oculta
Obstrucción	SGC1A1	Si
Bobina quemada	SGC1A2	Si
Cable abierto	SGC1A3	Si
Mala conexión eléctrica	SGC1A4	Si
Mala conexión mecánica	SGC1B1	No
Daño en sello	SGC1B2	Si

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el sistema gas combustible se presenta en la Tabla 30.

10.6.3 Sistema Señales de Temperatura

10.6.3.1 Funciones

Las funciones para el sistema señales de temperatura se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 18. Funciones sistema señales de temperatura

Ítem	Función	Código
Termocupla	Sensar temperatura	SST1

10.6.3.2 Modo de Falla

Los modos de falla para el sistema señales de temperatura se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 19. Modo de falla sistema señales de temperatura

Modos de Falla		
DESCRIPCION	Código	Falla Oculta
Cable abierto (termopar)	SST1A1	Si
Medición temperatura errónea	SST1A2	Si
Mala conexión eléctrica	SST1A3	Si

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el sistema señales de temperatura se presenta en la Tabla 31.

10.6.4 Sistema Señales de Presión

10.6.4.1 Funciones

Las funciones para el sistema señales de presión se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 20. Funciones sistema señales de presión

Ítem	Función	Código
Transductor de Presión	Sensar presión de 0 a 100 psi	SSP1

10.6.4.2 Modo de falla

Los modos de falla para el sistema señales de presión se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 21. Modo de falla sistema señales de presión

Modos de Falla		
Descripción	Código	Falla Oculta
Cable abierto	SSP1A1	Si
Obstrucción	SSP1A2	Si
Medición presión errónea	SSP1A3	Si
Mala conexión eléctrica	SSP1A4	Si
Mala conexión mecánica	SSP1A5	No

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el sistema señales de presión se presenta en la Tabla 32.

10.6.5 Sistema Señales de nivel

10.6.5.1 Funciones

Las funciones para el sistema señales de nivel se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 22. Funciones sistema señales de nivel

Ítem	Función	Código
Switch nivel de aceite	Sensar nivel de aceite	SSN1
Switch nivel de agua	Sensar nivel de agua	SSN2
Switch nivel de líquidos Scrubber	Sensar nivel de líquidos	SSN3

10.6.5.2 Modo de Falla

Los modos de falla para el sistema de nivel se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 23. Modo de falla sistema señales de nivel

Modos de Falla		
DESCRIPCION	Código	Falla Oculta
Cable abierto	SSN1A1	Si
Boya (porocidad)	SSN1A2	Si
Obstrucción	SSN1A3	Si
Microswitch	SSN1A4	Si
Mala conexión eléctrica	SSN1A5	Si
Mala conexión mecánica	SSN1A6	No

Cable abierto	SSN2A1	Si
Boya	SSN2A2	Si
Obstrucción	SSN2A3	Si
Microswitch	SSN2A4	Si
Mala conexión eléctrica	SSN2A5	Si
Mala conexión mecánica	SSN2A6	No
Cable abierto	SSN3A1	Si
Boya	SSN3A2	Si
Atascamiento	SSN3A3	Si
Microswitch	SSN3A4	Si
Mala conexión eléctrica	SSN3A5	Si
Mala conexión mecánica	SSN3A6	No

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el sistema de nivel se presenta en la Tabla 33.

10.6.6 Sistema Señales de vibración

10.6.6.1 Funciones

Las funciones para el sistema señales de vibraciones se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 24. Funciones sistema señales de vibración

Ítem	Función	Código
Switch vibración	Sensar vibraciones	SSV1

10.6.6.2 Modo de Falla

Los modos de falla para el sistema señales de vibración se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 25. Modo de falla sistema señales de vibración

Modos de Falla		
DESCRIPCION	Código	Falla Oculta
Cable abierto	SSV1A1	Si
Condición componentes mecánicos	SSV1A2	Si
Contactos internos sulfatados	SSV1A3	Si
Mala conexión electrica	SSV1A4	Si
Mala conexión mecánica	SSV1A5	No

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el sistema señales de vibración se presenta en la Tabla 34.

10.6.7 Panel de Control

10.6.7.1 Funciones

Las funciones para el panel de control se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 26. Funciones panel de control

Ítem	Función	Código
Tarjetas electrónica de datos	Recibir señales, procesar información y realizar control	PC1
Tarjetas electrónica de potencia	Alimentar tarjeta de datos	PC2

10.6.7.2 Modo de Falla

Los modos de falla para panel de control se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 27. Modos de falla panel de control

Modos de Falla		
DESCRIPCION	Código	Falla Oculta
Aumento voltaje	PC1A1	Si
Mala conexión	PC1A2	Si
Temperatura ambiente	PC1A3	Si
Aumento voltaje	PC2A1	Si
Mala conexión	PC2A2	Si
Temperatura ambiente	PC2A3	Si

El resultado del análisis de FMEA, RCM y las tareas de mantenimiento para el panel de control se presenta en la Tabla 35.

Consecuencias y decisiones de mantenimiento

Para el análisis de consecuencias de falla de uno de los componentes se utiliza la matriz RAM desarrollada en Ecopetrol SA, la cual se puede observar en la figura 52.

Figura 52. Tabla de Riesgos Ecopetrol

CONSECUENCIAS						PROBABILIDAD				
Personas	Economica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		A	B	C	D	E
						No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades	Catastrofica > \$10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 día)	Severo \$100k a \$1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10k a \$100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <\$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Fuente: Ecopetrol SA

El resultado de la evaluación de la consecuencia según la matriz RAM de la figura 52 de los fallos de los sistemas del motocompresor 04LP se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.8.**

Tabla 28. Evaluación del riesgo por sistema

Sistema	Personal	Economica	Ambiental	Cliente	Imagen
Sistema de ignición	0C	2D	0C	2C	2C
Sistema de Gas Combustible	0C	2D	0C	2C	2C
Sistema Señales de Temperatura	0C	2D	0C	2C	2C
Sistema Señales de Presión	0C	2D	0C	2C	2C
Sistema Señales de Nivel	0C	2D	0C	2C	2C
Sistema Señales de Vibración	0C	2D	0C	2C	2C
Panel de Control	0C	2D	0C	2C	2C

Tabla 29. Sistema de Ignición FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
CPU-95	GENERAR Y DISTRIBUIR CORRIENTE A BOBINAS (BAJO VOLTAJE)	SI1	Incapaz de generar y distribuir corriente a bobinas	SI1A	CAMBIO BRUSCO DE TEMPERATURA	SI1A1	PERDIDA DE POTENCIA / PARADA DE PLANTA	OPERACIONES	VERIFICAR CONDICIONES ATMOSFERICAS Y POSICIONAMIENTO DE CPU	2500	CONDENSACIÓN	0.25 HORA
					AUSENCIA DE CHISPA	SI1A2			REVISAR SEÑAL EN JB DE IGNICIÓN	1000	AUSENCIA CHISPA	8 HORA
					CABLE ABIERTO	SI1A3			REVISAR CONTINUIDAD DE ARNES	2500	AUSENCIA CHISPA	4 HORA
					DAÑO DE LA TARJETA	SI1A4			INSPECCIÓN/LIMPIEZA	2500	AUSENCIA IGNICIÓN NO ARRANQUE MAQUINA	6 HORAS
					MALA CONEXIÓN ELECTRICA/FALSOS CONTACTOS ELECTRICOS	SI1A5			VERIFICAR CONEXIONES EN BORNERAS EN JB IGNICION	2500	AUSENCIA CHISPA	3 HORAS
					VOLTAJE ALIMENTACION	SI1A6			REVISAR TENSION EN FUENTE Y BORNERA DE ENTRADA EN CPU-95	2500	AUSENCIA IGNICIÓN NO ARRANQUE MAQUINA	0.25 HORAS
					MALA CALIBRACIÓN PICK UP CUENTA DIENTES	SI1A7			VERIFICAR CON GLAGAS EL ENTREHIERRO DEL SENSOR Y EL ELEMENTO, VERIFICAR ARNES Y PINES Y ESTADO DE PICK UP	2500	AUSENCIA IGNICIÓN NO ARRANQUE MAQUINA	2 HORAS
					MALA SINCRONIZACION EN PICK UP EFECTO HALL	SI1A8			VERIFICAR CON GLAGAS EL ENTREHIERRO DEL SENSOR Y EL ELEMENTO, VERIFICAR ARNES Y PINES Y ESTADO DE PICK UP	2500	AUSENCIA IGNICIÓN NO ARRANQUE MAQUINA	2 HORAS
					MALA SINCRONIZACION EN PICK UP RESET	SI1A9			UBICAR MAQUINA EN TIEMPO Y VERIFICAR POSICIONAMIENTO PICK UP EFECTO HALL Y RESET	2500	AUSENCIA IGNICIÓN NO ARRANQUE MAQUINA	2 HORAS
					BAJA VELOCIDAD ARRANQUE	SI1A10			VERIFICAR PARAMETROS ARRANQUE	2500	AUSENCIA CHISPA	05. HORAS
					REFERENCIA A TIERRA	SI1A11			VERIFICAR CONEXIONES NO ESTEN AISLADAS, CABLE TIERRA ABIERTO, PIN G O COMUN NO ESTE AISLADO	2500	FUGAS CORRIENTE ARNES DE IGNICIÓN	1 HORA
					MALA PROGRAMACIÓN EEPROM	SI1A12			VERIFICAR PROGRAMACIÓN	2500	SHUTDOWN	8 HORAS
					HUMEDAD	SI1A13			VERIFICAR HERMETICIDAD CAJA, Y CONDICIONES IP (PROTECCIÓN INTERFERE)	2500	DAÑO EN TARJETAS	0.25 HORAS

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
BUJIAS	PROPORCIONAR LA CHISPA A LA PRECAMARA	SI2	Incapaz de proporcionar la chispa a la precamara	S12A	DESGASTE ELECTRODOS	SI2A1	PERDIDA DE POTENCIA / PARADA DE MAQUINA	OPERACIONES	INSPECCION VISUAL	2500 H	DESGASTE	0,3 HORAS
					SUCIEDAD	SI2A2			REVISAR ESTADO DE LAS BUJIAS/LIMPIEZA	2500 H	SUCIEDAD	0,3 HORAS
					SULFATACION	SI2A3			REVISAR ESTADO DE LAS BUJIAS/LIMPIEZA	2500 H	SULFATACION	0,3 HORAS
					MALA CALIBRACION (GAPS)	SI2A4			VERIFICAR CON GALGAS ENTREHIERRO ENTRE ELECTRODOS	2501 H	AUSENCIA CHISPA	0,25 HORAS
					VARIACION CARACTERISTICAS ELECTRICAS O MAGNITUDES	SI2A5			MEDIR CON MULTIMETRO CONDICIONES NOMINALES	2502 H	MEDIR RESISTENCIA ENTRE ELECTRODOS	0,25 HORAS
			DEFICIENCIA ESTRUCTURAL	SI2B	DESGASTE DE RECURRIMIENTO O DETERIORO	SI2B1	NO ENCENDIDO DE LAS BUJIAS/ PERDIDA DE POTENCIA / EXPLOSION	OPERACIONES	SIMULAR PROBADOR BUJIAS	DIARIO	AISLAMIENTO DEFICIENTE	0,13 HORAS
TRANSFORMADORES DE IGNICION	ELEVARE EL VOLTAJE	SI3	AUSENCIA DE VOLTAJE ENTREGADO DEL CABLE PRIMARIO	SI3A	CABLE ABIERTO	SI3A1	NO HAY EXPLOSION EN LA CAMARA/ PERDIDA DE POTENCIA / PARADA DE EQUIPO	OPERACIONES	REVISAR CONTINUIDAD EN EL CABLEADO	2500 H	CABLE ABIERTO	0,25 HORAS
					EN CORTOCIRCUITO	SI3A2			REVISAR ESTADO DE LOS TRANSFORMADORES	2500 H	EN CORTOCIRCUITO	0,25 HORAS
					MALA SEÑAL CPU-95	SI3A3			VERIFICAR VOLTAJE PRIMARIO TRANSFORMADOR	2501 H		0,25 HORAS
					SULFATACION	SI3A4			REVISAR ESTADO DE LOS TRANSFORMADORES	2502 H	SULFATACION	0,13 HORAS
					VARIACION CARACTERISTICAS ELECTRICAS O MAGNITUDES	SI3A5			MEDIR CON MULTIMETRO CONDICIONES NOMINALES	2503 H		
		MAL FUNCIONAMIENTO	SI3B	POLARIDAD INVERTIDA	SI3B1	VIIDA UTIL DISMINUYE/ PERDIDA DE POTENCIA / PARADA DE EQUIPO	MANTENIMIENTO	VERIFICAR LA CORRECTA INSTALACION	2500	POLARIDAD INVERTIDA	0,25 HORA	

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
CABLES SECUNDARIOS	CONducIR CORRIENTE	SI4	SOBRECAlENTAMIE NTO	SI4A	CABLE SUELTO, CORTOCIRCUITO	SI4A1	NO HAY EXPLOSION EN LA CAMARA/ PERDIDA DE POTENCIA / PARADA DE EQUIPO	OPERACIONES	REVISAR CORRECTA CONEXION DE LOS CABLES	2500 H	CABLE SUELTO, CORTOCIRCUITO	0,13 HORAS
			Incapaz de conducir corriente	SI4B	HUMEDAD	SI4B1			REVISAR ESTADO DE LOS CABLES	2500 H	HUMEDAD	0,13 HORAS
			SALTO DE CORRIENTE	SI4C	PERDIDA DE AISLAMIENTO	SI4C1		CBM	REVISAR AISLAMIENTO EXTERNO DE LOS CABLES	2500 H	PERDIDA DE AISLAMIENTO	0,2 HORAS

Tabla 30. Sistema gas Combustible FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
ELECTROVALVULA	PERMITIR PASO GAS SUMINISTRO	SGC1	Incapaz de suministrar Gas	SGC1A	OBSTRUCCIÓN	SGC1A1	PERDIDA DE POTENCIA / PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	REVISAR ESTADO DEL SISTEMA DE FILTRADO	2500	CALIDAD GAS SUMINISTRO/SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	4 HORA
					BOBINA QUEMADA	SGC1A2			VERIFICAR POLARIDAD EN SUMINISTRO DE ENERGIA. VERIFICAR RESISTENCIA EN BOBINA	2500	SUMINISTRO DE GAS/SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	1 HORA
					CABLE ABIERTO	SGC1A3			REVISAR CONTINUIDAD EN EL CABLEADO	2500	SUMINISTRO DE GAS/SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXIÓN ELECTRICA	SGC1A4			VERIFICAR CONEXIÓN EN BORNERAS	2500	SUMINISTRO DE GAS/SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
			Fuga de gas suministro	SGC1B	MALA CONEXIÓN MECANICA	SGC1B1	NO ENCENDIDO MAQUINA		VERIFICAR AJUSTE MECANICO	2500	INCIDENTE/SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					DAÑO EN SELLO	SGC1B2			PRUEBA HERMETICIDAD	2500	NO PARA MOTOCOMPRESOR	.5 horas

Tabla 31. Sistema señales de temperatura FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
TERMOCUPLA	SENSAR TEMPERATURA	SST1	MAL FUNCIONAMIENTO	SST1A	CABLE ABIERTO (TERMOPAR)	SST1A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VERIFICAR CONTINUIDAD	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MEDICIÓN TEMPERATURA ERRONEA	SST1A2			SIMULAR TEMPERATURA CON BLOQUE SECO	2500	MALA MEDICIÓN POR BAJA TEMPERATURA/SHUTDOWN POR ALTA TEMPERATURA	2 HORA
					MALA CONEXIÓN ELECTRICA	SST1A3			REVISAR CONEXIONES ELECTRICAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA

Tabla 32. Sistema señales de Presión FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
TRANSDUCTORES DE PRESIÓN	SENSAR PRESIÓN DE 0 A 100 PSI	SSP1	Incapaz de sensar presion de 0 a 100 psi	SSP1A	CABLE ABIERTO	SSP1A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VERIFICAR CONTINUIDAD	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					OBSTRUCCIÓN	SSP1A2			SOPLETEAR LINEA	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR/MALA MEDICIÓN	1 HORA
					MEDICIÓN PRESIÓN ERRONEA	SSP1A3			SIMULAR PRESIÓN Y VERIFICAR EN DISPLAY (CALIBRAR)		SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR/MALA MEDICIÓN	1 HORA
					MALA CONEXIÓN ELECTRICA	SSP1A4			VERIFICAR CONEXIONES ELECTRICAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR/MALA MEDICIÓN	0.5 HORA
					MALA CONEXIÓN MECANICA	SSP1A5			VERIFICAR AJUSTE MECANICO		SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR/MALA MEDICIÓN/FUGAS - INCIDENTE	0.5 HORA

Tabla 33. Sistema señales de Nivel FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
SWITCH NIVEL ACBTE	SENSAR NIVEL ACPTE	SSN1	MAL FUNCIONAMIENTO	SSN1A	CABLE ABIERTO	SSN1A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VERIFICAR CONTINUIDAD	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					BOYA (POROCIDAD)	SSN1A2			INSPECCION/LIMPIEZA	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	1 HORA
					OBSTRUCCION	SSN1A3			LIMPIEZA TOMAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	1 HORA
					MICROSWITCH	SSN1A4			VERIFICAR FUNCIONAMIENTO	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXION ELECTRICA	SSN1A5			VERIFICAR CONEXIONES ELECTRICAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXION MECANCA	SSN1A6			VERIFICAR AJUSTE MANGUERAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
SWITCH NIVEL AGUA	SENSAR NIVEL AGUA	SSN2	MAL FUNCIONAMIENTO	SSN2A	CABLE ABIERTO	SSN2A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VERIFICAR CONTINUIDAD	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					BOYA	SSN2A2			INSPECCION/LIMPIEZA	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	2 HORA
					OBSTRUCCION	SSN2A3			LIMPIEZA TOMAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MICROSWITCH	SSN2A4			VERIFICAR FUNCIONAMIENTO	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	1 HORA
					MALA CONEXION ELECTRICA	SSN2A5			VERIFICAR CONEXIONES ELECTRICAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXION MECANCA	SSN2A6			VERIFICAR AJUSTE LINEAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
SWITCH NIVEL LIQUIDOS SCRUBBER	SENSAR NIVEL LIQUIDOS	SSN3	MAL FUNCIONAMIENTO	SSN3A	CABLE ABIERTO	SSN3A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VERIFICAR CONTINUIDAD	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					BOYA	SSN3A2			INSPECCIÓN/LIMPIEZA	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	2 HORA
					ATASCAMIENTO	SSN3A3			LIMPIEZA TOMAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MICROSWITCH	SSN3A4			VERIFICAR FUNCIONAMIENTO	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	1 HORA
					MALA CONEXIÓN ELECTRICA	SSN3A5			VERIFICAR CONEXIONES ELECTRICAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXIÓN MECANICA	SSN3A6			VERIFICAR AJUSTE MECANICO	2500	FUGAS - INCIDENTE	0.5 HORA

Tabla 34. Sistema señales de Vibración FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
SWITCH VIBRACIÓN	SENSAR VIBRACIONES	SSV1	MAL FUNCIONAMIENTO	SSV1A	CABLE ABIERTO	SSV1A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VERIFICAR CONTINUIDAD	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					CONDICIÓN COMPONENTES MECANICOS	SSV1A2			INSPECCIÓN/LIMPIEZA/PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	2 HORA
					CONTACTOS INTERNOS SULFATADOS	SSV1A3			INSPECCIÓN/LIMPIEZA	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	1 HORA
					MALA CONEXIÓN ELECTRICA	SSV1A4			VERIFICAR CONEXIONES ELECTRICAS	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXIÓN MECANICA	SSV1A5			VERIFICAR AJUSTE MANGUERAS		SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.25 HORA

Tabla 35. Panel de Control FMEA y RCM

COMPONENTE	FUNCION	Codigo	Falla Funcional		Modos de Falla		EFECTOS DE LA FALLA	DETECCION DE LA FALLA / SINTOMA	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA (H)	Causa de Falla que se controla	Tiempo duracion por Unidad
			DESCRIPCION	Codigo	DESCRIPCION	Codigo						
TARJETAS ELECTRONICA DATOS	RECIBIR SEÑALES, PROCESAR INFORMACIÓN Y HACER CONTROL	PC1	MAL FUNCIONAMIENTO	PC1A	AUMENTO VOLTAJE	PC1A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VEREIFICAR FUNCIONALIDAD FUENTE DE VOLTAJE	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXIÓN	PC1A2			VERIFICAR CABLEADO	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	2 HORA
					TEMPERATURA AMBIENTE	PC1A3			ASEGURAR FUNCIONAMIENTO VENTILACION EN EL PANEL	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORAS
TARJETAS ELECTRONICA DE POTENCIA	ALIMENTA TARJETA DE DATOS, RECIBE INFORMACIÓN DE LA TARJETA DE DATOS Y EJECUTA SHUTDOWN	PC2	MAL FUNCIONAMIENTO	PC2A	AUMENTO VOLTAJE	PC2A1	PARADA DE MOTOCOMPRESOR	OPERACIONES	VEREIFICAR FUNCIONALIDAD FUENTE DE VOLTAJE	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORA
					MALA CONEXIÓN	PC2A2			VERIFICAR CABLEADO	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	2 HORA
					TEMPERATURA AMBIENTE	PC2A3			ASEGURAR FUNCIONAMIENTO VENTILACION EN EL PANEL	2500	SHUTDOWN MOTOCOMPRESOR	0.5 HORAS

11. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se realizó un análisis de criticidad a los elementos mantenibles del sistema de control electrónico del motocompresor 12 SVG, identificando los más críticos.
- Se realizó un análisis de modos y efectos de falla, y asimismo, se establecieron las tareas y las frecuencias a las cuales se les debe hacer mantenimiento a los ítems mantenibles del sistema de control electrónico del sistema de control 12 SVG.
- Se realiza un análisis económico funcional de la implementación del sistema de control electrónico en comparación con uno neumático, y se observa, la conveniencia de instalarlo, ya que garantiza, un mejor control en la operación de la máquina.
- Se recomienda realizar estos estudios a la mayoría de equipos de la compañía, con el fin de identificar los elementos críticos y hacer uso de los recursos humanos, económicos y tecnológicos de manera optimizada.
- Con el estudio realizado se observó que un daño causado por una maquina con sistema de control neumático, costea en su totalidad la instalación de un control electrónico, la cual busca la mayor eficiencia del motocompresor.
- La instalación del sistema de control electrónico marca Altronics permitio mejorar el funcionamiento del motocompresor 04LP, obteniendo un sistema mucho más seguro y confiable para la compresión de gas de la estación de Santos.
- La medición de las variables en un equipo es fundamental para alargar la vida útil de los componentes mecánicos de la máquina, por lo anterior, el sistema de control electrónico permite esta funcionalidad a diferencia del neumático.

- Recomendamos realizar las tareas de mantenimiento programadas, con el fin de que el sistema de control funcione adecuadamente y asimismo, prevenir mal funcionamiento que pueda terminar en daños mecánicos.
- Con la instalación del sistema de control electrónico, se redujo los tiempos de parada no programada y por ende, la reducción de los costos asociados a la diferida de producción.

BIBLIOGRAFIA

- Altronic. CPU-95EVS Enhanced VariSpark® Digital Ignition System for Industrial Engines. <http://www.altronic-llc.com/pdf/cpu95/CPU-95EVS%209-14.pdf>
- Altronic. Medium engines. 2-16 Cylinders. Shielded system <http://www.altronicinc.com/pdf/altronicIII/alt3applist.pdf>
- Amot. 2230/4430 2-Way Temperature Sensing Valves. Overview. <http://www.amot.com/products/pneumatic-instrumentation/temperature-sensing-valves/product/260/22304430-2-way-temperature-sensing-valves>
- Amot. 4075/4475 High Temperature Valves. Overview <http://www.amot.com/products/pneumatic-instrumentation/temperature-sensing-valves/product/157/40754475-high-temperature-valves>
- B. S. Dhillon, Engineering maintenance : a modern approach. 2002, p. 202.
- Barril equivalente de petróleo. https://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo
- Cambios de estrategia en Ecopetrol. <http://elfrente.com.co/ahora/cambio-de-estrategias-en-ecopetrol/>

- Ecopetrol S.A. Acerca de Ecopetrol. Nuestra historia. <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/nuestra-historia/>
- Ecopetrol S.A. Estructura organizacional. Organigrama. <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/nuestra-empresa/quienes-somos/acerca-de-ecopetrol/estructura-organizacional/organigrama/>
- Ecopetrol S.A. Información general. Gasoductos y campos de gas en Colombia. http://www.ecopetrol.com.co/multimedias_gas/Mapa_gasoductos_campos_gas.pdf
- Gas natural precio mensual. Peso colombiano por Millones de BTU. <http://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=gas-natural&moneda=cop>
- Gas natural. Medida. BTU http://www.ehowenespanol.com/cuantos-btu-hay-pie-cubico-gas-natural-sobre_179518/
- GONZALEZ RODRIGUEZ, MIGUEL ABDEL, HERRERA ANDRADES, OSCAR IVÁN Diseño de un plan de mantenimiento piloto basado en la filosofía rcm para los equipos críticos de la estación corocora del oleoducto de los llanos orientales odl s.a. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización en Gerencia de Mantenimiento, 2014. 86 p.

- IAEA, IAEA-TECDOC-1551 IMPLEMENTATION STRATEGIES AND TOOLS FOR CONDITION BASED MAINTENANCE AT NUCLEAR POWER PLANTS. 2007, p. 187.
- J. Gao, A. Koronios, S. Kennett, and H. Scott, Definitions, Concepts and Scope of Engineering Asset Management, vol. 1. 2010, pp. 159–172.
- Kenco. Model KLCP oil level controller with pneumatic switch <http://mestekindia.com/pdf/OilLevelControllersandOilLevelSwitches.pdf>
- K. A. H. Kobbacy, D. N. P. Murthy, J. E. Boylan, and A. A. Syntetos, “Complex System Maintenance Handbook,” in Complex System Maintenance Handbook, 2008, pp. 479–506.
- M. Ben-Daya, S. O. Duffuaa, A. Raouf, J. Knezevic, and D. Ait-Kadi, Handbook of Maintenance Management and Engineering. 2009, pp. 1–744.
- Mutual Consultants, “Reliability Centred Maintenance.” [Online]. Available: <http://www.mutualconsultants.co.uk/rcm.html>.
- NASA, RELIABILITY CENTERED MAINTENANCE GUIDE FOR FACILITIES AND COLLATERAL EQUIPMENT. 2000, p. 356.
- VERA MUÑOZ, Hernando. Proyecto de grado Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM-Ecopetrol S.A. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga 2011. <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5972/2/138036.pdf>

- Wikipedia, "Reliability centered maintenance." [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_centered_maintenance.](http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_centered_maintenance)