

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS
EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA GERENCIA DE OPERACIONES
DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN CAMPO CUSIANA DE ECOPETROL S.A.**

**EZEQUIEL HUERTAS MURILLO
ALDO FABRICIO SOSA DIAZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2020

**OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS
EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA GERENCIA DE OPERACIONES
DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN CAMPO CUSIANA DE ECOPETROL S.A.**

**EZEQUIEL HUERTAS MURILLO
ALDO FABRICIO SOSA DIAZ**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA EN
GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**DIRECTOR
JOVANNY CASTELLANOS CASTILLO
ING. ELECTROMECAÁNICO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2020

DEDICATORIA

A nuestras familias, quienes son el pilar de nuestras vidas y nos han apoyado en cada paso que hemos dado para lograr cumplir las metas que nos hemos propuesto con el transcurrir del tiempo para adquirir nuevos conocimientos.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos continuar con nuestra formación personal y profesional. A nuestras familias, por su constante acompañamiento y apoyo incondicional y a todos nuestros profesores, amigos y colegas que hicieron posible que este gran proyecto se hiciera una realidad.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	20
1 MARCO CONTEXTUAL.....	21
1.1 ECOPETROL S.A.	21
1.1.1 Reseña histórica	21
1.1.2 Marco estratégico	23
1.1.3 Estructura organizacional	24
1.2 GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN CAMPO CUSIANA DE ECOPETROL S.A.	26
1.2.1 Instalaciones del Centro de Producción y Facilidades CPF-Cusiana	26
1.3 LA PRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL PETRÓLEO	28
1.3.1 Llegada del crudo	28
1.3.2 Separación o gas de proceso	29
1.3.3 Reinyección de gas, gas ventas y gas licuado del petróleo.....	30
1.3.4 Almacenamiento del crudo	33
1.3.5 Reinyección de agua	34
1.3.6 Otros subprocesos.....	34
1.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CAMPO CUSIANA.....	35
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	36
2 OBJETIVOS.....	39
2.1 OBJETIVO GENERAL	39

2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	39
3	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	40
4	MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	41
4.1	EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO	41
4.1.1	La Primera Generación.....	41
4.1.2	La Segunda Generación	41
4.1.3	La Tercera Generación	42
4.2	MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM	44
4.2.1	Las siete preguntas básicas del RCM	45
4.3	OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO	48
4.4	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD.....	56
4.4.1	Definición de Falla	56
4.4.2	Análisis de Modos de Falla	57
4.4.3	Métodos de análisis de los modos de falla	57
4.4.4	Indicadores de Confiabilidad.....	60
5	RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	63
5.1	HISTÓRICO DE LOS MANTENIMIENTOS REALIZADOS A LOS EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA GDP CAMPO CUSIANA.....	63
5.1.1	Análisis del histórico de los mantenimientos preventivos y correctivos del sistema eléctrico del CPF-Cusiana	63
5.2	ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CONFIABILIDAD.....	64
5.2.1	Tiempo medio entre fallas (MTBF)	64
5.2.2	Confiabilidad	65
5.2.3	Disponibilidad	66
5.2.4	Análisis de malos actores de mantenimiento.....	66

5.2.5	Análisis de Pareto e identificación de modos de falla	67
5.2.6	Revisión Análisis de Causa Raíz	68
6	OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CPF-CUSIANA	73
6.1	ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS RAÍZ Y PLANES ACCIÓN.....	73
6.2	REVISIÓN DEL FMEA E HISTORIAL DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURADA EN SAP	75
6.2.1	Estrategia de Mantenimiento para Transformadores de Potencia	75
6.2.2	Estrategia de Mantenimiento Línea Aérea 13,8KV.....	79
6.2.3	Estrategia de Mantenimiento Motores de Media y Baja Tensión y Cubículos en MCC.....	82
6.2.4	Estrategia de Mantenimiento para Cubículos en Centros de Control de Motores	84
6.2.5	Estrategia de Mantenimiento Banco de Ductos, Bandeja Porta Cables y Bonding.....	85
6.2.6	Estrategia de Mantenimiento de Aires Acondicionado en Áreas de Proceso	87
6.2.7	Estrategia de Mantenimiento Sistema de Puesta a Tierra	89
6.2.8	Estrategia de Mantenimiento Puente Grúas	90
6.2.9	Estrategia de Mantenimiento Sistema de Apantallamiento, Protección Contra Descargas Atmosféricas	93
6.2.10	Estrategia de Mantenimiento Aires Acondicionado tipo Mini Split	94
6.2.11	Estrategia de Mantenimiento Sistema de Alumbrado.....	96
6.2.12	Estrategia de Mantenimiento para Sistemas de Alimentación Ininterrumpida “UPS” y Banco de Baterías	97

6.2.13	Estrategia de Mantenimiento Cargadores y Bancos de Baterías	99
6.2.14	Estrategia de Mantenimiento Generadores de Energía Eléctrica.....	101
6.2.15	Estrategia de Mantenimiento Inspección y Certificación de Equipos Eléctricos Portátiles	103
6.2.16	Estrategia de Mantenimiento Revisión Estatus y Sistema Eléctrico en Áreas Clasificadas	104
6.2.17	Estrategias de Mantenimiento de Preservación, Sistema de Alarmas, y Sistema Contra Incendios.....	105
6.3	MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN.....	105
6.3.1	Puesto de trabajo de CBM en SAP.....	105
6.3.2	Puesto de trabajo de Electricidad en SAP	105
6.3.3	Puesto de trabajo de Mecánica en SAP	108
6.4	INTEGRIDAD OPERATIVA – RONDAS OPERATIVAS ESTRUCTURADAS “REVO”	110
7	RESULTADOS OBTENIDOS UNA VEZ IMPLEMENTADA EN SAP LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO AÑO 2019.....	114
7.1	CÁLCULO DE RECURSOS Y BALANCE DE ESTRATÉGIA DE MANTENIMIENTO.....	117
8.	CONCLUSIONES	119
	BIBLIOGRAFÍA.....	120

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características de la primera generación del mantenimiento	41
Tabla 2. Características de la segunda generación del mantenimiento	42
Tabla 3. Características de la tercera generación del mantenimiento	43
Tabla 4. Ejemplo de análisis de modos de falla (FMA)	51
Tabla 5. Ejemplo de la racionalización y revisión del FMA	52
Tabla 6. Ejemplo del análisis funcional	53
Tabla 7. Ejemplo evaluación de consecuencias	53
Tabla 8. Definición de la política de mantenimiento	54
Tabla 9. Análisis de fallas por tipo de equipos	67
Tabla 10. Acciones de verificación, Análisis de Causa Raíz	72
Tabla 11. Plan de acción por tipo de equipo y modo de falla	74
Tabla 12. Actividades de mantenimiento para transformadores de potencia según el PMO del año 2017	75
Tabla 13. Nueva estrategia de mantenimiento para transformadores de potencia según el PMO año 2019	77
Tabla 14. Recursos y HH requeridas para mantenimientos transformadores de potencia	79
Tabla 15. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de transformadores de potencia	79
Tabla 16. Actividades de mantenimiento para la línea aérea de 13,8KV, según el PMO del año 2017	79
Tabla 17. Nueva estrategia de mantenimiento para la línea aérea, según el PMO año 2019	81
Tabla 18. Recursos y HH requeridas para mantenimiento de la línea aérea 13,8KV.	81

Tabla 19. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de la línea aérea 13,8KV.....	82
Tabla 20. Actividades de mantenimiento para motores de media y baja tensión y cubículos en MCC's, según el PMO del año 2017	82
Tabla 21. PM's correspondientes a las mediciones de puestas a tierra CPF-Cusiana	83
Tabla 22. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de motores de media y baja tensión	83
Tabla 23. Actividades de mantenimiento para cubículos en MCC's, según el PMO del año 2017	84
Tabla 24. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de cubículos en MCC's.....	85
Tabla 25. Actividades de mantenimiento para banco de ductos, bandejas porta cables y bonding, de acuerdo a PMO del año 2017	86
Tabla 26. Actividades de las PM's a inactivar en SAP de mantenimiento para banco de ductos, bandejas porta cables y bonding.....	87
Tabla 27. Actividades de mantenimiento para aires acondicionados en áreas de proceso, de acuerdo a PMO del año 2017	87
Tabla 28. PM's a modificar frecuencia y HH para mantenimiento de aires acondicionados en áreas de proceso	88
Tabla 29. Actividades de mantenimiento para sistema de puesta a tierra, de acuerdo a PMO del año 2017	89
Tabla 30. PM's a modificar frecuencia, HH y puesto ejecutor para mantenimiento de sistema de puesta a tierra.....	90
Tabla 31. Actividades de mantenimiento para puente grúas, de acuerdo a PMO del año 2017	90
Tabla 32. PM's a inactivar en SAP correspondientes a las tareas trimestrales y anuales preventivas eléctricas en mantenimientos a puente grúas.....	91
Tabla 33. Actividades de mantenimiento puente grúas según el PMO del año 2019	92

Tabla 34. Actividades de mantenimiento para el sistema de apantallamiento, de acuerdo a PMO del año 2017	93
Tabla 35. PM's a inactivar en SAP correspondientes a las tareas de mantenimiento del sistema de apantallamiento.....	93
Tabla 36. Actividades de mantenimiento para aires acondicionados mini split, de acuerdo a PMO del año 2017	94
Tabla 37. PM's a modificar frecuencia para mantenimiento de aires acondicionados mini split.....	95
Tabla 38. Actividades de mantenimiento sistema de alumbrado, de acuerdo a PMO del año 2017	96
Tabla 39. PM's mantenimiento sistema de alumbrado a inactivar en SAP.....	96
Tabla 40. Cambio de frecuencia y alcance mantenimiento UPS's y Bancos de Baterías	98
Tabla 41. PM's mantenimiento de UPS's y Bancos de Baterías a inactivar en SAP	98
Tabla 42. Análisis HH estrategia de mantenimiento UPS's y bancos de baterías anterior y la definida en el PMO del año 2019	99
Tabla 43. Cambio de frecuencia y alcance mantenimiento Cargadores y Bancos de Baterías	100
Tabla 44. PM's mantenimiento de Cargadores y Bancos de Baterías a inactivar en SAP.....	100
Tabla 45. Análisis HH estrategia de mantenimiento Cargadores y bancos de baterías anterior y la definida en el PMO del año 2019	101
Tabla 46. PM's mantenimiento de Generadores de Energía Eléctrica a inactivar en SAP.....	102
Tabla 47. Análisis HH estrategia de mantenimiento generadores anterior y la definida en el PMO del año 2019.....	102
Tabla 48. Actividades de inspección y certificación de equipos eléctricos portátiles, de acuerdo a PMO del año 2017	103

Tabla 49. Cambio de frecuencia en SAP de la PM de inspección y certificación de equipos y herramientas eléctricas portátiles	103
Tabla 50. Rutina de inspección equipos eléctricos en áreas clasificadas	104
Tabla 51. PM´s inspección de equipos eléctricos en áreas clasificadas a inactivar en SAP	104
Tabla 52. PM´s de actividades eléctricas predictivas a inactivar en SAP	106
Tabla 53. PM´s creadas en SAP para termografía en tableros y transformadores tipo seco	106
Tabla 54. PM´s creadas en SAP para termografía en transformadores de potencia	107
Tabla 55. Cambio de frecuencia y HH en PM´s de termografía UPS´s, batería y cargadores	107
Tabla 56. PM´s creadas en SAP para análisis de laboratorio muestras de aceite dieléctrico transformadores de potencia	108
Tabla 57. PM´s creadas en SAP para toma de descargas parciales en generadores	108
Tabla 58. Cambio de frecuencia PM´s toma y análisis muestras de aceite por mecánica	109
Tabla 59. PM´s a inactivar en SAP de Estructurales, Sistema 1, Facilidad GX39 y la Cotu	109
Tabla 60. Inspecciones en REVO sistema de alumbrado	110
Tabla 61. Inspecciones en REVO generadores de emergencia	111
Tabla 62. Inspecciones en REVO transformadores de potencia	111
Tabla 63. Inspecciones en REVO UPS´s, Cargadores y Bancos de Baterías	111
Tabla 64. Inspecciones en REVO bancos de ductos, bandejas porta cables y bonding	112
Tabla 65. Inspecciones en REVO equipos en áreas clasificadas	112
Tabla 66. Optimización HH después de la implementación en SAP del PMO año 2019	115
Tabla 67. Creación el SAP de nuevas técnicas de mantenimiento preventivo ...	116

Tabla 68. Inspecciones incluidas en la herramienta REVO	116
Tabla 69. Cálculo de recursos y balance de estrategia de mantenimiento según el PMO año 2019.....	117

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Refinería de Barrancabermeja.....	22
Figura 2. Estrategia 2020+ Creación de valor como grupo empresarial integrado	24
Figura 3. Organigrama Ecopetrol S.A.....	25
Figura 4. Localización geográfica del Campo Cusiana en Colombia.....	27
Figura 5. Instalaciones CPF-Cusiana Ecopetrol S.A.....	27
Figura 6. Llegada de crudo al Slug Catcher Campo Cusiana.....	29
Figura 7. Área de Separación Compresores Demag Campo Cusiana.....	30
Figura 8. Área de Reinyección de Gas Agrio Campo Cusiana.....	31
Figura 9. Área de Compresión de Gas Dulce Campo Cusiana.....	31
Figura 10. Planta Gas Licuado del Petróleo.....	32
Figura 11. Balas de almacenamiento Gas Licuado del Petróleo.....	32
Figura 12. Planta Llenadero Gas Licuado del Petróleo.....	33
Figura 13. Tanques de almacenamiento de crudo Campo Cusiana.....	33
Figura 14. Bombas Weir Reinyección de agua Campo Cusiana.....	34
Figura 15. Histórico horas hombre por tipo de estrategia de mantenimiento.....	37
Figura 16. Ciclo vicioso de mantenimiento reactivo.....	49
Figura 17. Fuente del mantenimiento preventivo (PM).....	51
Figura 18. Diagrama de Pareto.....	60
Figura 19. Gráfica de los mantenimientos realizados en los años 2017, 2018 y 2019 CPF-Cusiana.....	63
Figura 20. Gráfica distribución de trabajos correctivos 2017, 2018 y 2019.....	64
Figura 21. Gráfica MTBF Sistema de Generación CPF-Cusiana.....	65
Figura 22. Gráfica de Confiabilidad Sistema Generación CPF-Cusiana.....	65
Figura 23. Gráfica de disponibilidad Sistema Generación CPF-Cusiana.....	66
Figura 24. Gráfica de Pareto por Equipos del Sistema Eléctrico.....	68

Figura 25. Matriz RAM de Ecopetrol S.A.	70
Figura 26. Evidencias y hallazgos del rotor del generador una vez extraído	71
Figura 27. Árbol lógico de falla.....	72
Figura 28. Horas Hombre estrategia de mantenimiento según el PMO del año 2017	114
Figura 29. Horas Hombre estrategia de mantenimiento según el PMO del año 2019 implementado en SAP	115
Figura 30. Gráfica de distribución Horas Hombre área Eléctrica año 2020	117
Figura 31. Gráfica de distribución Horas Hombre área CBM Eléctrica año 2020	118
Figura 32. Gráfica de distribución Horas Hombre área CBM Mecánica año 2020	118

GLOSARIO

- **CMMS:** “Computerized Maintenance Management System” Sistema Computarizado de Administración de Mantenimiento es una herramienta que soporta la gestión básica de mantenimiento de una empresa, permitiendo monitorear las actividades básicas y los costos relacionados con los diferentes trabajos de mantenimiento de los equipos. Soportan requerimientos básicos como el registro de equipos, el flujo de las órdenes de trabajo, el histórico de trabajos de mantenimiento, el control y uso de inventarios de repuestos y reportes básicos de gestión y desempeño de los equipos.
- **CPF:** “Central Processing Facilities”. Los Centros de Producción y Facilidades, son Instalaciones de procesamiento y refinación de hidrocarburos del sector Oil & Gas.
- **FMEA:** Análisis de Modos de falla y Efectos, es el proceso central del RCM.
- **FMECA:** El Análisis de los Modos, los Efectos, las Causas y las Criticidades de las Fallas es una metodología que permite identificar los modos de falla potenciales para un equipo, máquina y proceso.
- **PMO:** Optimización del plan de mantenimiento.
- **RAM:** “Risk Assessment Matrix”. Matriz de Evaluación de Riesgos utilizada por Ecopetrol S.A.
- **RCM:** “Reliability Centred Maintenance”. El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, es una técnica para elaborar un plan de mantenimiento en una instalación industrial y presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas.
- **REVO:** Significa rondas estructuradas y ventanas operativas y es un modelo de integridad operativa enfocado a la supervisión, revisión, cuidado y control permanente de equipos de alto costo como por ejemplo los equipos de la industria petrolera.

- **SAP:** “Systems, Applications, Products in Data Processing”, es un Sistema informático que permite la planificación, el procesamiento y la determinación de tareas para el mantenimiento de una planta, facilitando la toma de decisiones.

RESUMEN

TÍTULO:

OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN CAMPO CUSIANA DE ECOPETROL S.A*.

AUTORES:

EZEQUIEL HUERTAS MURILLO**
ALDO FABRICIO SOSA DIAZ**

PALABRAS CLAVE:

CONFIABILIDAD, DISPONIBILIDAD, MODO DE FALLA, ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ, ANÁLISIS DE MALOS ACTORES.

CONTENIDO:

La siguiente monografía estructura el desarrollo e implementación de la optimización del plan de mantenimiento de los equipos que conforman el sistema eléctrico del CPF-Cusiana que hace parte de la gerencia de operaciones de desarrollo y producción piedemonte de Ecopetrol S.A.

La optimización del plan de mantenimiento se realiza como acción inmediata dando respuesta a la necesidad de minimizar los impactos en la producción, la sobreutilización de horas hombre y el alto costo de los mantenimientos causados por la indisponibilidad de los equipos del sistema eléctrico. El objetivo principal es estructurar un plan de mantenimiento óptimo a costo razonable, garantizando la confiabilidad y disponibilidad de los activos que conforman el sistema eléctrico del Campo Cusiana.

El desarrollo de la metodología implementada, está soportado por la información técnica de los equipos que conforman en sistema eléctrico y la experiencia del personal que opera y ejecuta las actividades de mantenimiento. Esta información es fundamental en cada una de las etapas de la aplicación de la metodología utilizada, principalmente durante la identificación de los modos de falla y malos actores. Una vez desarrollada, la metodología logra optimizar las actividades de mantenimiento, eliminando de la estrategia las actividades que no generan valor.

El resultado final de la optimización del plan se implementará en el software de mantenimiento CMMS en la herramienta SAP, pero debe ser una estrategia de mantenimiento muy dinámica, identificando oportunidades de mejora continua, que permita incrementar la efectividad del plan de mantenimiento. El plan debe estar apalancado por la gerencia del campo y con el compromiso y dedicación permanente del personal de operación y mantenimiento eléctrico.

* Monografía de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Ing. Jovanny Castellanos Castillo

ABSTRACT

TITLE:

OPTIMIZATION OF THE PREVENTIVE MAINTENANCE PLAN FOR THE ELECTRICAL SYSTEM EQUIPMENT OF THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OPERATIONS MANAGEMENT DEPARTMENT CAMPO CUSIANA DE ECOPETROL S.A*.

AUTHOR:

EZEQUIEL HUERTAS MURILLO**
ALDO FABRICIO SOSA DIAZ**

KEYWORDS:

RELIABILITY, AVAILABILITY, FAILURE MODES, ROOT CAUSE ANALYSIS, ANALYSIS OF BAD ACTORS.

CONTENTS:

The following monograph outlines the development and implementation of the optimization plan of maintenance of the equipment, that makes up the CPF-Cusiana electrical system, which is part of from the management of development and production operations department of Piedemonte of Ecopetrol S.A.

The optimization of the maintenance plan is carried out as an immediate action, responding to the need to minimize the impacts on production, the overuse of man-hours and the high cost of maintenance caused by the unavailability of the electrical system equipment. The main objective is to structure an optimal maintenance plan at a reasonable cost, guaranteeing the reliability and availability of the assets that make up the electrical system of Campo Cusiana.

The development of the implemented methodology is supported by the technical information of the equipment, that makes up the electrical system and the experience of the personnel who operates and carry out maintenance activities. This information is essential in each of the stages of the application of the methodology used, mainly during the identification of failure modes and bad actors. Once developed, the methodology manages to optimize maintenance activities, eliminating activities that do not generate value from the strategy.

The final result of the optimization of the plan will be implemented in the CMMS maintenance software in the SAP tool, but it must be a very dynamic maintenance strategy, identifying opportunities for continuous improvement, which allows increasing the effectiveness of the maintenance plan. The plan must be leveraged by the field management and with the permanent commitment and dedication of the electrical operation and maintenance personnel.

* Monografía de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento.

Director: Ing. Jovanny Castellanos Castillo

INTRODUCCIÓN

La Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, maneja una producción promedio de barriles de petróleo equivalentes día de 42.536, razón por la cual la disponibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico es vital para el cumplimiento de las metas económicas de la compañía.

El sistema eléctrico es el encargado de generar y suministrar la energía a todos los equipos y sistemas asociados al proceso incluyendo áreas administrativas del Centro de Procesamiento de Hidrocarburos y Facilidades.

Ante la problemática mundial por la variación constante en los precios del petróleo, las empresas tienen la misión de optimizar sus procesos para la supervivencia y proyección del negocio, por lo cual es muy conveniente e importante evaluar los planes de mantenimiento en busca de optimizarlos para llegar a un costo razonable.

Esta monografía muestra el desarrollo de la metodología para la optimización del plan de mantenimiento del sistema eléctrico del Campo Cusiana; dicha optimización hace parte de la necesidad de minimizar los impactos en la producción, la sobreutilización de horas hombre y el alto costo de repuestos causados por la indisponibilidad de los sistemas.

Para el desarrollo de la optimización del plan de mantenimiento se evaluaron los indicadores de confiabilidad, disponibilidad y tiempo promedio entre fallas, los cuales son claves en el análisis de pareto para la identificación de malos actores y los modos de falla para luego realizar el análisis de causa raíz. Una vez analizada la información, se procede a evaluar y definir las tareas, los recursos y repuestos necesarios para lograr como resultado un mantenimiento óptimo.

1 MARCO CONTEXTUAL

1.1 ECOPETROL S.A.

Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía.

Opera como una compañía integrada de petróleo y gas que se dedica a las actividades comerciales o industriales relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos.

Cuenta con operaciones en Colombia, Estados Unidos, Europa, Asia, América Central y del Caribe y América del Sur.

Según S&P Global Platts Analytics, en el año 2019 Ecopetrol S.A. se ubicó en el rango número 30 del “Top 250 Global Energy Companies®”¹.

1.1.1 Reseña histórica. 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.

En 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

¹<https://top250.platts.com/Top250Companies/30>

Figura 1. Refinería de Barrancabermeja



Fuente: <https://www.ecopetrol.com.co/>

En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República.

En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo.

En los años noventa Colombia prolongó su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de junio de 2003 modificó la estructura organizacional de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal.

A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial.

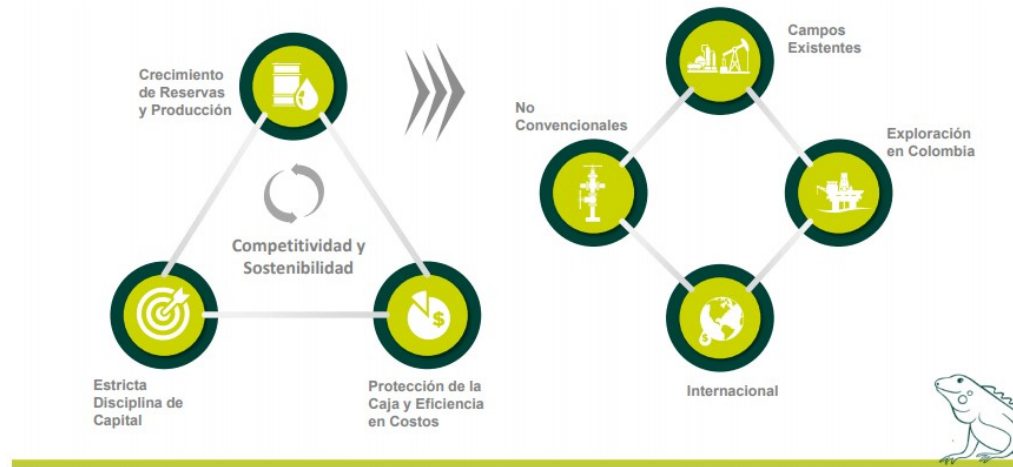
Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$15,4 billones registrada en 2011 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

1.1.2 Marco estratégico. El crecimiento de Ecopetrol S.A. durante los últimos años ha permitido posicionar la empresa como la primera del país, creando mayor relevancia y visibilidad en el ámbito internacional, generando confianza para sus accionistas.

Trabajando todos los días para construir un mejor futuro: rentable y sostenible, con una operación sana, limpia y segura, asegurando la excelencia operacional y la transparencia en cada una de las acciones y construyendo relaciones de mutuo beneficio con los grupos de interés.

El plan de negocio se cimienta en tres pilares (Crecimiento de reservas y producción, Estricta disciplina de capital y Protección de la caja y eficiencia en costos) que posibilitan cuatro áreas de crecimiento (Campos existentes, Exploración en Colombia, No convencionales e Internacionalización).

Figura 2. Estrategia 2020+ Creación de valor como grupo empresarial integrado



Fuente: <https://www.ecopetrol.com.co/>

Crecimiento enfocado en el Upstream con palancas de crecimiento asociadas al aprovechamiento de los activos actuales y la exploración en Colombia, la diversificación a través de la internacionalización y el crecimiento inorgánico, y el desarrollo de los Hidrocarburos en yacimientos no convencionales en Colombia y en Estados Unidos.

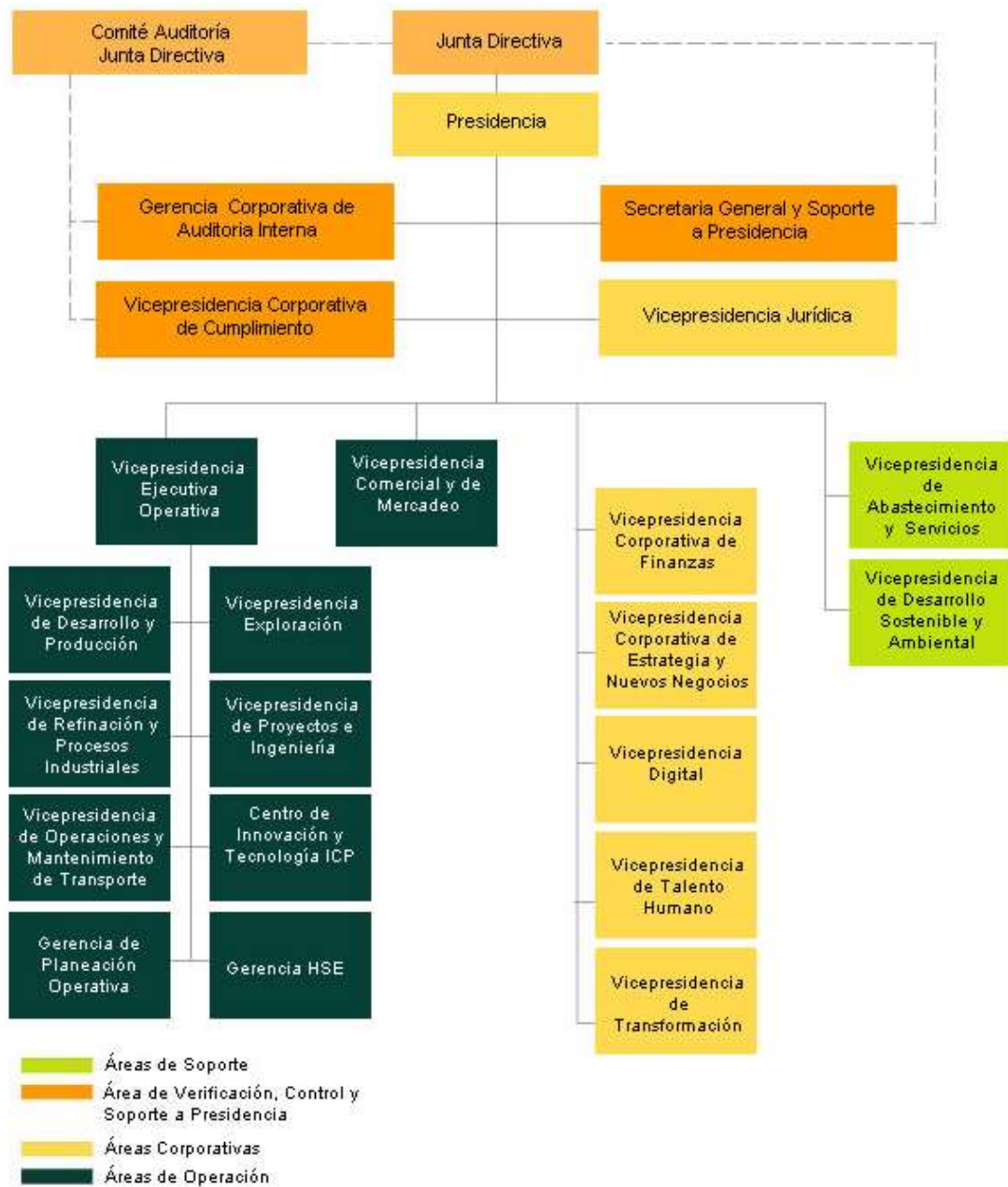
Cuatro habilitadores fundamentales: Gas, Transformación Digital, Programa de Transformación (Eficiencias) y Responsabilidad Corporativa.

1.1.3 Estructura organizacional. La Junta Directiva es el órgano de Administración de Ecopetrol y está integrada por nueve (9) miembros principales sin suplentes, quienes son elegidos por la Asamblea General de Accionistas en los términos establecidos en los Estatutos Sociales.

El Comité Directivo Da direccionamiento estratégico y efectúa seguimiento sistemático a las actividades a cargo de la compañía y recomienda mejoras y retos

para asegurar la sostenibilidad y la generación de valor. Así mismo, participa en la elaboración de políticas corporativas y da recomendaciones al respecto.

Figura 3. Organigrama Ecopetrol S.A.



Fuente: <https://www.ecopetrol.com.co/>

1.2 GERENCIA DE OPERACIONES DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN CAMPO CUSIANA DE ECOPETROL S.A.

La Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Campo Cusiana, hace parte de las áreas de negocio y pertenece a la Vicepresidencia Regional Piedemonte; esta a su vez reporta directamente a la Vicepresidencia de Desarrollo y Producción de Ecopetrol S.A.

La Vicepresidencia Regional Piedemonte está conformada por dos gerencias:

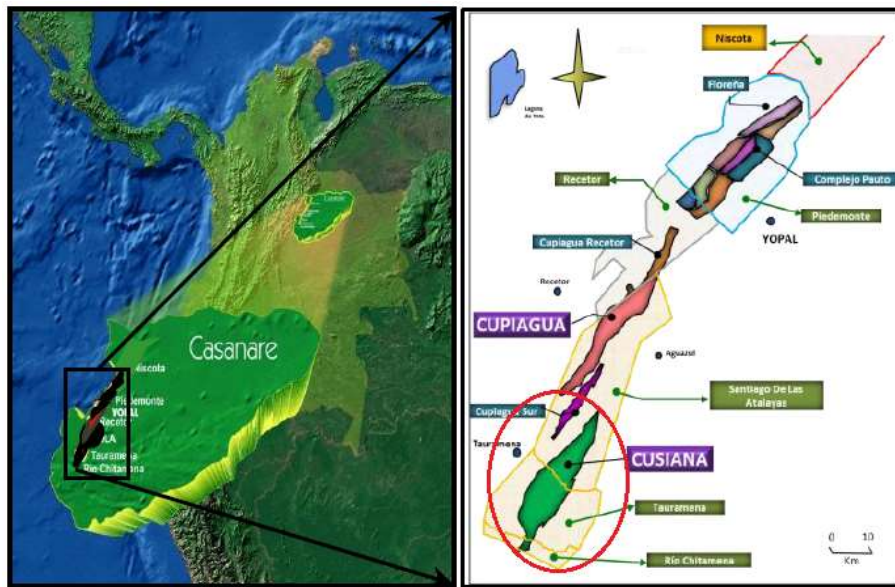
- Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Cusiana – Cupiagua
- Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Floreña

Las Gerencias de Operaciones de Desarrollo y Producción Cusiana - Cupiagua, están encargadas de las operaciones de producción de los campos Cusiana, Cupiagua y Cupiagua Sur; garantizando la Extracción, Recolección, Tratamiento, Almacenamiento, Fiscalización y Entrega de Hidrocarburos establecidos dentro de los planes volumétricos.

1.2.1 Instalaciones del Centro de Producción y Facilidades CPF-Cusiana.

- **Ubicación geográfica.** El campo Cusiana se encuentra ubicado en el departamento de Casanare, municipio de Tauramena en la meseta de la vereda el Tesoro, sobre el piedemonte de los Llanos Orientales Colombianos, en las coordenadas latitud / longitud 5.005029, -72.709942, tiene una extensión aproximada de 150 km², una altitud de 418 metros s. n. m., con una temperatura promedio anual de 30°C y a una distancia aproximada de 290 Km desde el norte de Bogotá.

Figura 4. Localización geográfica del Campo Cusiana en Colombia



Fuente: Plan de Desarrollo Campos Cusiana, Cupiagua, Cupiagua sur y Floreña.

Figura 5. Instalaciones CPF-Cusiana Ecopetrol S.A.



Fuente: <https://prensalibrecasanare.com/industriapetrolera/26639-le-fue-bien-a-ecopetrol-en-la-orinoquina-en-el-primer-semester-de-2017.html>.

1.3 LA PRODUCCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO DEL PETRÓLEO

El campo Cusiana maneja una producción promedio de barriles de petróleo equivalentes día (BEPD) de 42.536, de los cuales 4.159 corresponden a CRUDO + NGL's y 38.377 a GAS VENTAS + GLP².

El objetivo del tratamiento del petróleo en las instalaciones centrales de procesamiento, es retirarle el agua y el gas con el fin de reunir las especificaciones de entrega al oleoducto para la exportación.

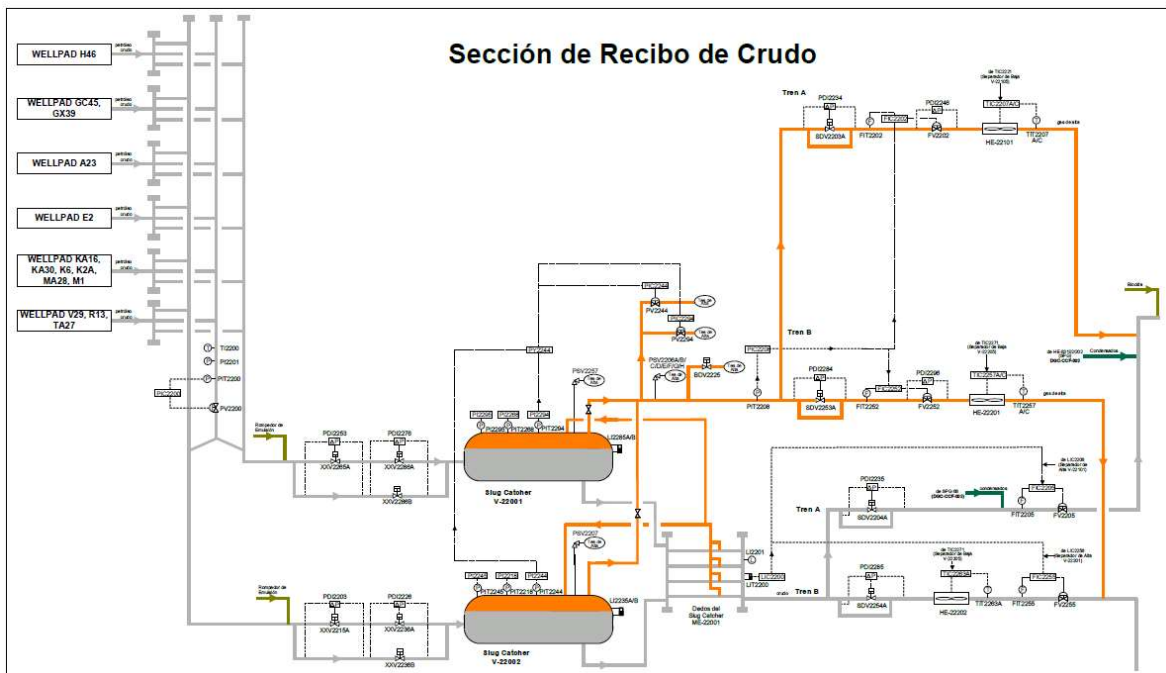
En el proceso del petróleo se aplican diferentes técnicas para estimular y mejorar la producción, como son: producción primaria, producción temprana, inyección de gas e inyección de agua.

En el Campo Cusiana debido al decaimiento de las presiones en los yacimientos, actualmente se utilizan los sistemas de inyección de gas y agua producida para mantener la presión en los pozos e impulsar el petróleo para que fluya normalmente hasta la superficie.

1.3.1 Llegada del crudo. Debido a la topografía del terreno, el flujo desde los pozos productores hasta el CPF presenta variaciones significativas por lo tanto antes de entrar al proceso es necesario normalizar los caudales de flujo en el Slug Catcher.

² Informe Departamento de Producción CPF-Cusiana Ecopetrol S.A.

Figura 6. Llegada de crudo al Slug Catcher Campo Cusiana

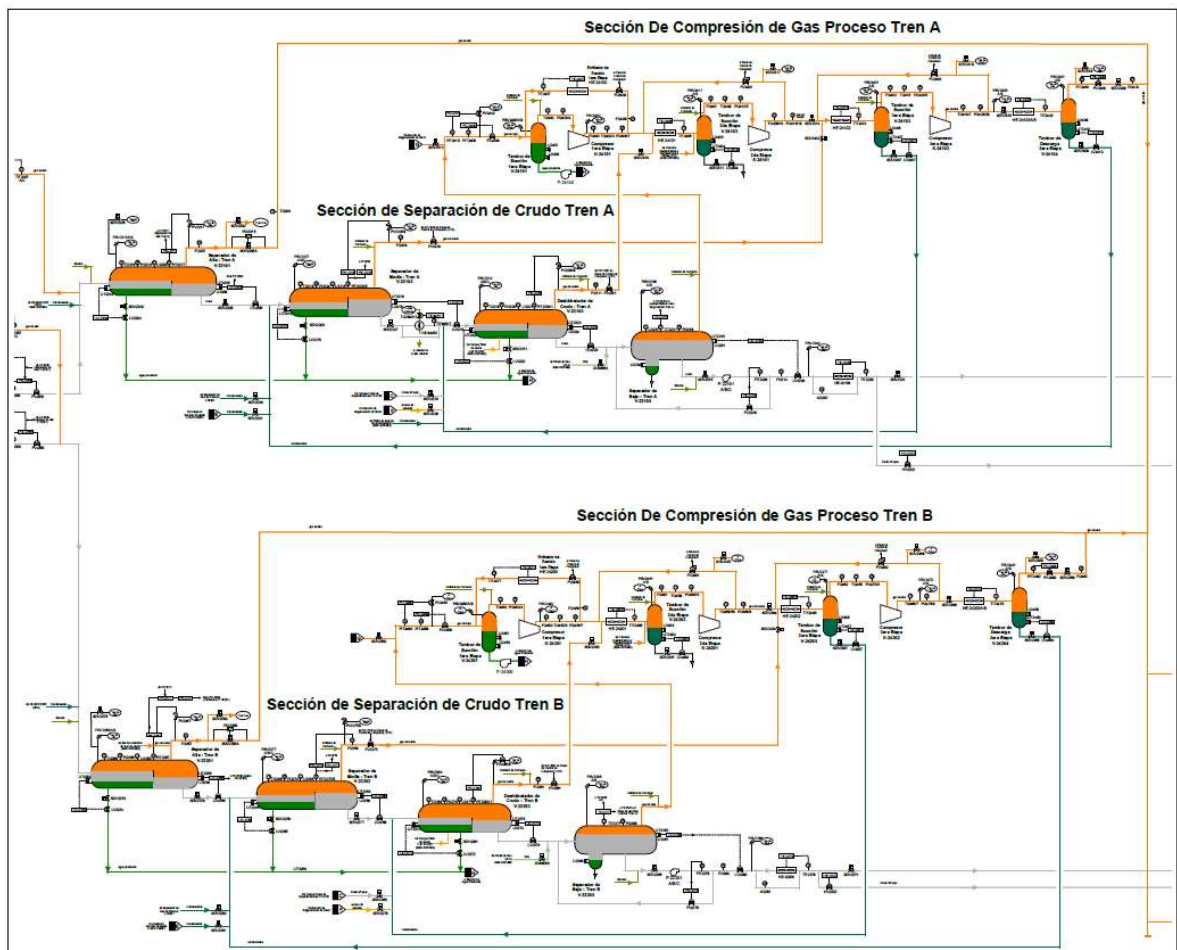


Fuente: Extractado del Diagrama Grande de Control del CPF-Cusiana.

1.3.2 Separación o gas de proceso. Los líquidos que llegan a las instalaciones son una mezcla de gas, agua y crudo, que deben someterse a un proceso de separación en vasijas donde cada uno de estos elementos es evacuado para continuar su tratamiento por separado.

El crudo almacenado desprende vapor de gas a presión atmosférica, por medio de ventiladores se incrementa la presión y se descarga al compresor Demag para iniciar el proceso del gas. La compresión de gas es necesario hacerla por etapas; en la primera etapa hay una recuperación de vapores en la unidad VRU, en la segunda etapa se incrementa la presión y en la fase dos se utilizan compresores centrífugos de tres etapas controlando el incremento de temperatura con aeroenfriadores interetapicos.

Figura 7. Área de Separación Compresores Demag Campo Cusiana



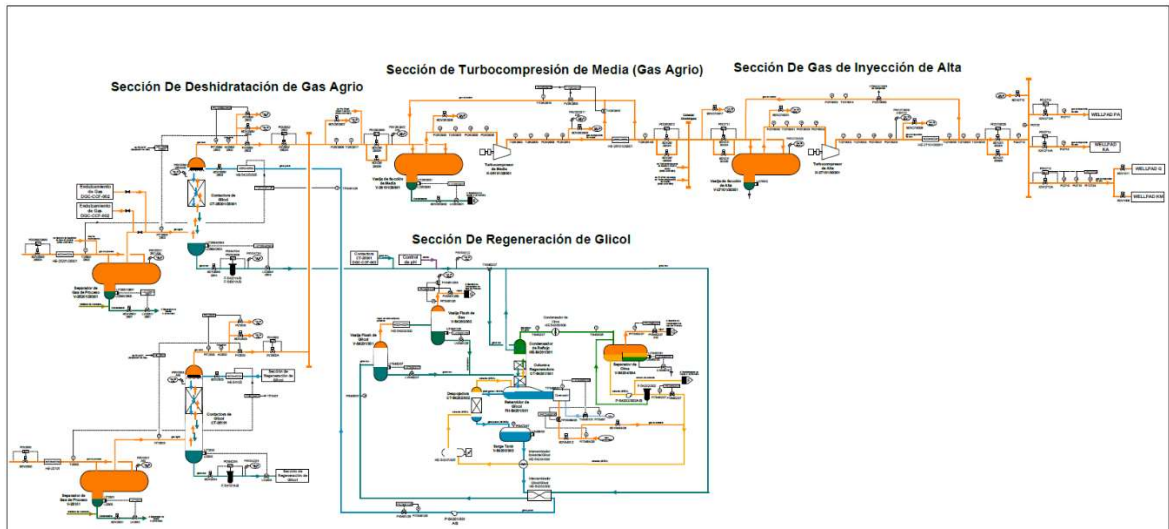
Fuente: Extractado del Diagrama Grande de Control del CPF-Cusiana.

1.3.3 Reinyección de gas, gas ventas y gas licuado del petróleo. Después de normalizar el flujo del hidrocarburo y con un aporte importante de gas desde el CPF-Cupiagua a través de la línea de transferencia, el gas que se separa se reúne con el gas del proceso a la misma presión.

De esta forma se inicia el proceso de compresión de media y alta presión; luego de ser comprimido a media presión una parte del gas (gas dulce) es enviado al interior del país como gas ventas y el gas (gas agrio) comprimido a alta presión es inyectado a los pozos.

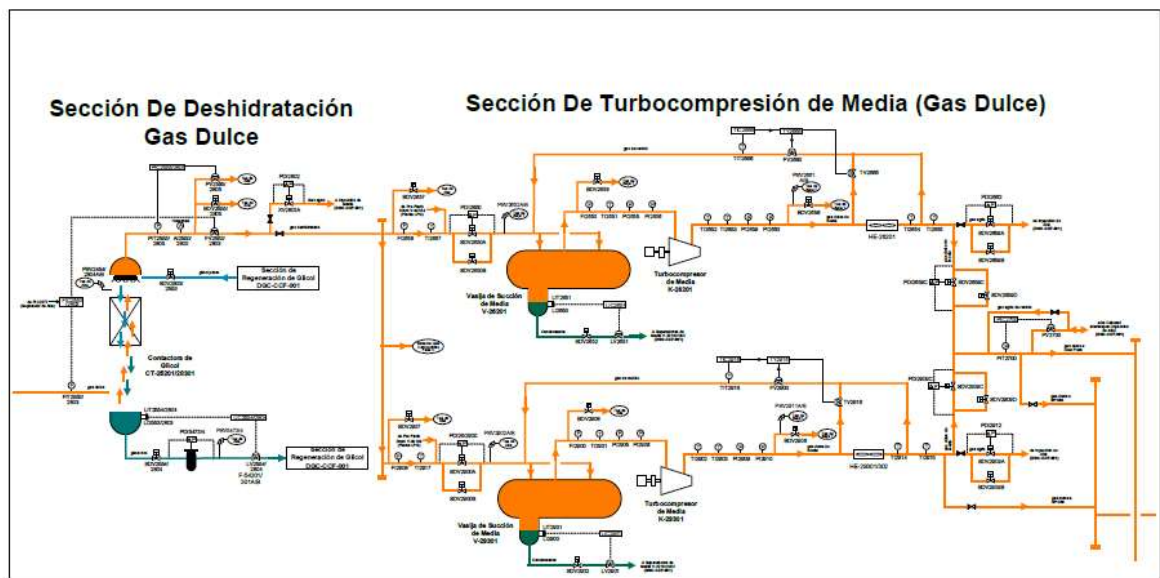
En el Campo Cusiana existen tres trenes de reinyección de gas con Turbo-Compresores de media y alta presión.

Figura 8. Área de Reinyección de Gas Agrio Campo Cusiana



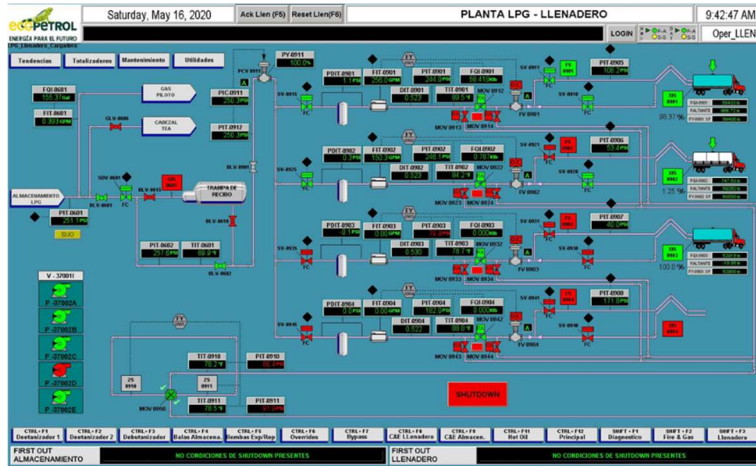
Fuente: Extractado del Diagrama Grande de Control del CPF-Cusiana.

Figura 9. Área de Compresión de Gas Dulce Campo Cusiana



Fuente: Extractado del Diagrama Grande de Control del CPF-Cusiana.

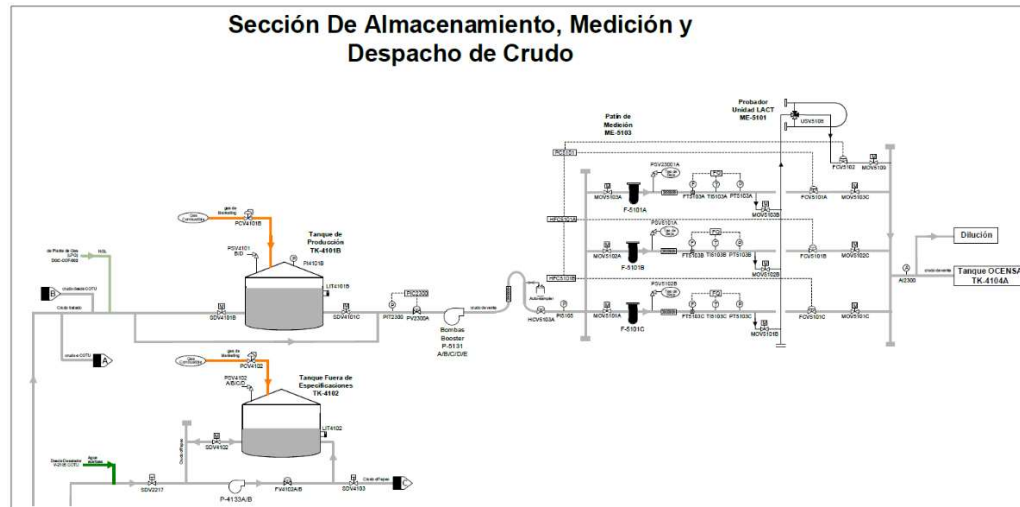
Figura 12. Planta Llenadero Gas Licuado del Petróleo



Fuente: Extractado de la estación HMI del Cuarto de Control Llenadero GLP.

1.3.4 Almacenamiento del crudo. El crudo que cumple las especificaciones del oleoducto y sin exceso de agua es bombeado a los tanques de almacenamiento que pertenecen a la empresa Ocesa para luego ser despachado hacia el puerto de Cove nas.

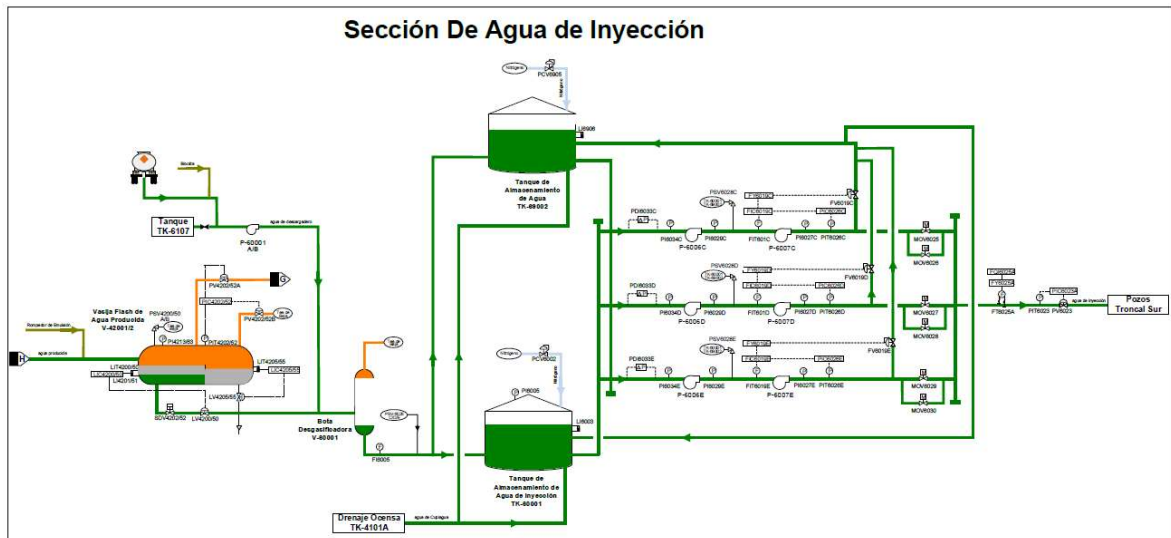
Figura 13. Tanques de almacenamiento de crudo Campo Cusiana



Fuente: Extractado del Diagrama Grande de Control del CPF-Cusiana.

1.3.5 Reinyección de agua. El agua producida como resultado del proceso y como optimización de la producción, se inyecta a los yacimientos para desplazar el petróleo hacia las cabezas de pozo y así mejorar y aumentar la producción; esta reinyección de agua se realiza con las bombas Weir.

Figura 14. Bombas Weir Reinyección de agua Campo Cusiana



Fuente: Extractado del Diagrama Grande de Control del CPF-Cusiana.

1.3.6 Otros subprocesos.

- **Sistema de utilitarios:** Está conformado por los compresores de aire, nitrógeno y toda la red de distribución; esta red es responsable de la mayoría de señales automáticas de protección de los equipos.
- **Sistema contra incendios:** Está conformado por las bombas, la red y los hidrantes para control de incendios en caso de que se llegaren a presentar.

- **Sistema de generación de energía eléctrica:** La energía eléctrica requerida para la suplir las necesidades del Campo es autogenerada; más adelante daremos una explicación detallada del sistema eléctrico del Campo Cusiana.

1.4 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CAMPO CUSIANA

En el Campo Cusiana, Ecopetrol S.A. es “Autogenerado” produciendo la energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades y la de la Estación Orensa S.A.

La principal fuente del suministro de energía eléctrica es una termoeléctrica conformada por tres turbo-generadores de 20,97MW de potencia cada uno, con turbinas a gas John Brown y generadores Parsons Peebles sincronizados y asociados a un switchgear de 13,8 KV, este tipo de sistema es llamado comúnmente autogeneración directa; esta térmica suple la demanda de energía que requiere el CPF, Llenadero de GLP y Estación Orensa principalmente.

El sistema eléctrico del Campo Cusiana a nivel general, está conformado por subestaciones asociadas a cada proceso de la siguiente manera:

- **Subestación 10 o Principal:** A esta subestación se encuentran asociados los tres turbo-generadores, un generador “black start” y el sistema de esenciales. De esta subestación se alimentan principalmente las otras subestaciones que mencionaremos a continuación en media tensión 13,8KV con alimentación redundante, incluyendo la alimentación del sistema de esenciales de 4,16KV; adicionalmente se alimentan en media tensión 13,8KV el Llenadero de GLP (alimentado eléctricamente a través de una línea aérea) y la Estación de Orensa.

- **Subestación Fase 1:** De esta subestación dependen las alimentaciones eléctricas del cuarto de control y áreas administrativas; adicionalmente, cuenta con dos generadores de emergencia en media y baja tensión.
- **Subestación 17:** Está asociada el proceso de separación o gas de proceso y las teas de fase 2 (subestación 12 en baja tensión).
- **Subestación 14:** Está asociada a los trenes del sistema de reinyección de gas y gas ventas.
- **Subestación 31:** Está asociada a los sistemas del proceso de los condensados del gas y al gas licuado del petróleo.
- **Subestación 69:** Está asociada a la planta de gas y al sistema de reinyección de agua.

1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente se tiene implementada una estrategia de mantenimiento preventivo en la herramienta SAP “Systems, Applications, Products in Data Processing”, asociada a los equipos mantenibles del sistema eléctrico del CPF-Cusiana. La estrategia de mantenimiento actual contempla un total de 23173,4 HH anuales y 24562,9 HH bianuales distribuidas por el tipo de mantenimiento como se muestra a continuación en la Figura 15:

Figura 15. Histórico horas hombre por tipo de estrategia de mantenimiento



Fuente: Extractado del Sistema Computarizado de Administración de Mantenimiento “CMMS”.

La estrategia de mantenimiento preventivo de los equipos mantenibles del sistema eléctrico del CPF-Cusiana, tiene 4 años de haber sido implementada en SAP “Systems, Applications, Products in Data Processing”. Durante la ejecución de la estrategia de mantenimiento preventivo, se evidencian deficiencias en el alcance de las actividades de mantenimiento, frecuencias de ejecución, sobre mantenimientos, horas hombre no ajustadas de acuerdo a la ejecución y equipos sin cobertura de la estrategia de mantenimiento. Lo anterior mencionado se ve reflejado en los indicadores de la gestión de mantenimiento (Backlog y cumplimiento de estrategia). Durante el año 2019 los indicadores sobre pasaron los límites permitidos para una óptima gestión de mantenimiento; a continuación, el resumen de los indicadores:

- Backlog 2019: 14.7 semanas (Por los estándares de desempeño de la empresa basados en los 5 pilares del cuerpo del conocimiento de la Sociedad de Profesionales de Mantenimiento y Confiabilidad “SMRP”, debe estar entre 4 y 6 semanas).
- Cumplimiento estrategia mantenimiento 2019: 80% (No se ejecutaron 60 ODM “Ordenes de Mantenimiento”).

La no ejecución oportuna y eficaz de la estrategia de mantenimiento generó fallas (237 ODM's correctivas) en los equipos mantenibles del sistema eléctrico con un costo aproximado de USD \$ 40.000.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar y optimizar el plan de mantenimiento preventivo de los equipos mantenibles del sistema eléctrico, clasificados como elementos críticos y no críticos por administración de seguridad de procesos (ASP) de la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, con el fin de disminuir las horas hombre anuales y bianuales requeridas para cumplir con la estrategia de mantenimiento estructurada en el sistema SAP “Systems, Applications, Products in Data Processing”.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las tareas, frecuencia, horas hombre y recursos asociados al mantenimiento preventivo y predictivo de la estrategia de mantenimiento actual del área eléctrica del CPF-Cusiana.
- Realizar análisis para identificar y clasificar los modos de falla de los equipos eléctricos CPF-Cusiana.
- Redefinir las tareas, la frecuencia, número de horas hombre y el recurso necesario para la ejecución de la nueva estrategia de mantenimiento del área eléctrica del CPF-Cusiana.
- Revisar, aprobar e implementar en el Sistema de gestión de mantenimiento computarizado “CMMS” – SAP los planes de mantenimiento de los equipos y técnicas que conforman la estrategia de mantenimiento del área eléctrica del CPF-Cusiana.

3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La disponibilidad y confiabilidad de los equipos del sistema eléctrico son los pilares fundamentales en la Operación de proceso para no generar restricciones o impactos en las entregas de gas a nivel nacional y cumplir con la meta de producción diaria de crudo.

Como parte fundamental, la Planeación Estratégica permite lograr el éxito empresarial teniendo en cuenta que es una herramienta fundamental para estructurar y estudiar los procesos y las labores de la empresa y, por consiguiente, conocer los errores y problemas que impiden su mejoramiento.

El planeamiento estratégico es la formulación, desarrollo y ejecución de los planes empresariales con el objetivo de alcanzar las metas planteadas. Es la visión que se tiene de una empresa en el futuro.

4 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

4.1 EVOLUCIÓN DEL MANTENIMIENTO

Según Moubray³, como todo proceso en evolución, el dominio del mantenimiento ha seguido una serie de etapas cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica.

4.1.1 La Primera Generación. La primera generación cubre el período hasta la II guerra Mundial. En esos días la industria no estaba muy mecanizada, por lo que los períodos de paradas no importaban mucho. La maquinaria era sencilla y en la mayoría de los casos diseñada para un propósito determinado. Esto hacía que fuera confiable y fácil de reparar. Como resultado, no se necesitaban sistemas de mantenimiento complicados, y la necesidad de personal calificado era menor que ahora.

Tabla 1. Características de la primera generación del mantenimiento

Expectativas	Técnicas	Personal
Reparar cuando se rompe	Mantenimiento correctivo	Pocas habilidades

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.2-3.

4.1.2 La Segunda Generación. Durante la segunda guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó.

³ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. traducido y adaptado por Carlos Mario Pérez J. Aladon, 2004. p.2-3

Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido equipos de todo tipo y cada vez más complejos. Las empresas habían comenzado a depender de ellas. Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más evidente. Esto llevó a la idea de que las fallas se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del mantenimiento programado. En los años 60 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos. El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costos de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar sistemas de control y planeación del mantenimiento. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

Tabla 2. Características de la segunda generación del mantenimiento

Expectativas	Técnicas	Personal
Mayor disponibilidad de la planta. Mayor vida útil de los equipos. Menor costo	Reparaciones programadas. Sistemas de planeamiento y control del trabajo. Computadoras grandes y lentas	Planeador

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.2-3.

4.1.3 La Tercera Generación. Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en las empresas ha tomado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse así:

Nuevas expectativas: El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más claro con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción justo a tiempo, en el que los reducidos niveles de

inventario en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento. Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento. Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de las fallas de una instalación para la seguridad y/o el medio ambiente.

Nueva Investigación: Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando las creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva un equipo funcionando y sus posibilidades de falla.

Tabla 3. Características de la tercera generación del mantenimiento

Expectativas	Técnicas	Personal
Mayor disponibilidad y confiabilidad de la planta. Mayor seguridad. Mejor calidad del producto. Ningún daño al medio ambiente. Mayor vida de los equipos. Mayor costo-eficacia	Monitoreo de condición. Diseño direccionado a la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento. Estudio de riesgos. Computadoras pequeñas y rápidas. Análisis de modos de falla y sus efectos. Sistemas expertos. Trabajo multifacético y en grupos	Especializado.

Fuente: MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004. p.2-3.

4.2 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

La industria de la aviación fue la primera en darse cuenta que se debe dedicar tanto esfuerzo en asegurarse que se están realizando las tareas correctamente, como en asegurarse que se están haciendo las tareas correctas. Esto dio lugar al desarrollo de mecanismos de toma de decisiones que se conocieron en el gremio como MSNG3 y fuera de este como RCM o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad.

En casi todos los sectores RCM se está convirtiendo en el mecanismo de custodia de los activos físicos, debido a que no existe otra técnica que determine de manera segura las cantidades mínimas de tareas necesarias para que el activo preserve su función. La definición de RCM sería entonces: “Proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que los usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual”⁴.

Según el autor Moubray⁵, en RCM los estados de falla son conocidos como fallas funcionales porque ocurren cuando el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. Por lo cual las fallas funcionales solo pueden ser identificadas luego de haber definido las funciones y parámetros de funcionamiento del activo. Debido a que el RCM, basa su filosofía en la búsqueda de todas las fallas funcionales con el objetivo de que no se presente ninguna, esto lo convierte en el método indicado para la elaboración de un plan de mantenimiento inicial.

Fallas funcionales: Los objetivos de mantenimiento son definidos por las funciones y las expectativas de funcionamiento asociadas al activo en cuestión. El único hecho que pueda hacer que un activo no pueda desempeñarse conforme a los parámetros

⁴ MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004

⁵ Ibid, p. 7 – 18

requeridos por sus usuarios es alguna clase de falla. Esto sugiere que el mantenimiento cumple sus objetivos al adoptar una política apropiada para el manejo de una falla. Sin embargo, antes de poder aplicar una combinación adecuada de herramientas para el manejo de una falla, se necesita identificar que fallas pueden ocurrir.

Modos de falla: Una vez que se ha identificado cada falla funcional, el próximo paso es tratar de identificar todos los hechos de manera razonablemente posible pueden haber causado cada estado de falla. Estos hechos se denominan modos de falla. Los modos de falla razonablemente posible, incluyen aquellos que han ocurrido en equipos iguales o similares operando en el mismo contexto, fallas que actualmente están siendo prevenidas por regímenes de mantenimiento existente, así como fallas que no han ocurrido, pero son consideradas altamente posibles en el contexto en cuestión.

4.2.1 Las siete preguntas básicas del RCM. La metodología RCM formula siete preguntas básicas acerca del activo a revisar:

¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional? Básicamente las funciones son aquello que los usuarios desean que haga un activo físico, por eso el primer paso es definir las funciones en su contexto operacional, junto con los parámetros de funcionamiento deseados. Las funciones están divididas en dos categorías:

- Funciones primarias: Resumen el porqué de la adquisición del activo.
- Funciones secundarias: Las que el usuario espera que el activo debería hacer además de cumplir con las funciones primarias. Generalmente el usuario tiene expectativas de seguridad, confort, economía, eficiencia etc.

¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones? En el mundo del RCM, las fallas son denominadas fallas funcionales debido a que cuando ocurre el activo no puede cumplir una función de acuerdo al parámetro de funcionamiento que el usuario considera aceptable. RCM identifica qué fallas pueden ocurrir en el activo, identificando las circunstancias que llevaron a la falla y luego preguntándose qué eventos pueden causar que el activo falle.

¿Cuál es la causa de cada falla funcional? Los que de manera razonable pudieron haber causado la falla, se denominan en RCM modos de falla. Para identificar los modos de falla se incluyen aquellos hechos posibles que han ocurrido en los equipos similares o en similares contextos operacionales, fallas que están siendo prevenidas por el sistema de mantenimiento y fallas que, aunque no hayan ocurrido se consideran altamente posibles para el contexto operacional del caso de estudio.

¿Qué sucede cuando ocurre una falla? RCM lista los efectos de las fallas, describiendo lo que ocurre cuando se presenta un modo de falla. En la descripción de los efectos de falla debería incluirse:

- Qué evidencia existe (si la hay) que la falla ha ocurrido.
- De qué modo representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente (si la representa).
- De qué manera afecta la producción o las operaciones (si las afecta).
- Qué daños físicos (si los hay) han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

¿En qué sentido es importante cada falla? Los efectos de las fallas son diversos, pueden afectar las operaciones, la calidad del producto, la seguridad o el medio ambiente etc. RCM reconoce que todos los tipos de falla no pueden ser reparados pues costaría mucho tiempo y dinero, por lo tanto, la consecuencia de las fallas

influencia el intento por prevenirlas. En otras palabras, si la consecuencia de la falla es alta, se hará un intento grande por prevenirla, pero si posee leves consecuencias, quizá se decida no hacer mantenimiento.

Un punto fuerte de RCM es que reconoce que las consecuencias de las fallas son más importantes que las diferentes características del activo, y clasifica estas consecuencias en cuatro tipos:

- Consecuencias de fallas ocultas. Fallas que no tienen un impacto directo, pero expone a la organización a fallas con consecuencias serias. Por ejemplo: La consecuencia de una falla en un sistema contra incendios.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad. Una falla tiene consecuencias para la seguridad si es posible que cause lesiones o la muerte a una persona, y tiene consecuencias para el medio ambiente si infringe alguna normativa ambiental, ya sea nacional o internacional.
- Consecuencias operacionales. Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción en cualquier aspecto.
- Consecuencias no-operacionales. No afectan la producción ni la seguridad y sólo implican un costo asociado a la reparación. Por ejemplo, la falla en un equipo de back-up.

¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla? Como se había mencionado anteriormente, en la tercera generación del mantenimiento se hicieron descubrimientos en cuanto la probabilidad condicional de falla, que rompieron los paradigmas tradicionales que relacionaban la edad del activo con el aumento de la probabilidad de falla del mismo. Se pensaba también que entre más rápido se reparara o cambiara un componente era mejor. Hoy se ha demostrado que esto es cierto en muy pocos casos, sólo el 2% de los componentes de aeronaves comerciales siguen un patrón de falla tipo A o curva de la bañera.

La conciencia de estos hechos ha llevado a muchas empresas a abandonar por completo las tareas de mantenimiento proactivo, algo válido si las consecuencias de las fallas fueran menores. RCM divide en tres grupos las tareas para prevenir, predecir y disminuir las consecuencias de las fallas.

- Tareas de reacondicionamiento cíclico. Refabricar o reparar un componente antes que llegue a su límite de edad sin importar su condición en ese momento.
- Tareas de sustitución cíclica. Sustituir un componente antes que llegue a su límite de edad sin importar su condición en ese momento.
- Tareas a condición. Se basan en el hecho que la mayoría de las fallas dan algún indicio o advertencia de que están por ocurrir. Se llaman tareas a condición porque el equipo se deja operativo a condición de que continúen alcanzando los parámetros de funcionamiento adecuados.
- Las tareas a condición incluyen tareas de mantenimiento predictivo, mantenimiento basado en condición y monitoreo de condición.

¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada? Cuando se identifica que no existe una tarea proactiva efectiva, RCM propone realizar búsqueda de fallas, rediseño y mantenimiento a rotura. Estas tareas se llaman tareas a falta de.

4.3 OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

Valderrama Pilar⁶ en el artículo de Planned Maintenance Optimisation de la OMCS2000 International Latin América, explica que las estadísticas comparadas de encuesta sobre eficacia del mantenimiento en procesos industriales, han demostrado que existen problemas con la mayoría de los programas de

⁶ VALDERRAMA, Pilar. Planned Maintenance Optimisation.OMCS2000 International Latin America

mantenimiento preventivo a pesar de que los responsables de su administración cumplen estrictamente los calendarios y sus ejecuciones, tanto en plantas, procesos y flotas de equipos.

Las conclusiones de varios estudios de optimización de los planes de mantenimiento son:

- Existen tareas duplicadas.
- Algunas tareas se hacen muy frecuentemente y otras muy distantes.
- Algunas tareas no generan beneficios más bien acumulan gastos.
- Algunas tareas son intrusivas o basadas en overhauls, cuando deberían ser basadas en condición.
- Se presentan muchas fallas que son costosas y fácilmente han podido ser prevenibles.

Figura 16. Ciclo vicioso de mantenimiento reactivo



Fuente: OMCS International Latin América.

Basándose en las conclusiones expuestas anteriormente, las organizaciones entran en el Ciclo Vicioso de Mantenimiento Reactivo (ver Figura 16), esto genera un dilema para el mejoramiento de la productividad, ya que por más que la planeación

y la programación sean perfectas, no ayudarán a mejorar un programa de mantenimiento que por sí mismo es ineficiente.

Los estudios indican que se debe implementar un proceso que:

- Pueda definir la mezcla apropiada entre mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo.
- Pueda generar un programa de mantenimiento en donde las tareas y sus frecuencias sean sólidas y aporten valor agregado.
- Ofrezca diferentes opciones para la minimización o eliminación de fallas.

La recomendación, para implementar todas las estrategias es asegurar que las decisiones se toman basadas en un análisis de RCM, realizado en la fase de diseño de una planta nueva y para la planta en funcionamiento, PMO es el medio para racionalizar todo el Mantenimiento Preventivo (PM) y así asegurar que existe valor agregado y es costo efectivo para la organización.

Turner⁷, director de OMCS International, describe en su artículo el “Análisis de Mantenimiento del Futuro” los 9 pasos del PMO:

Paso 1. Recopilación de Tareas: PMO inicia recopilando o documentando el programa de mantenimiento existente (formal o informal) y subiéndolo a una base de datos. Es importante entender que el mantenimiento lo realiza un grupo amplio de personas, incluyendo los operadores. También es muy importante entender que en la mayoría de organizaciones el PM se hace por iniciativa propia de los técnicos o de los operadores y no existe documentación formal; cuando esta situación se presenta simplemente se debe documentar lo que el personal ya ha estado

⁷ TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PMOptimisation PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman. P.12-15

haciendo. Es muy común que las organizaciones de mantenimiento tengan algún tipo de PM, ya sea formal o informal; es raro encontrar organizaciones que no tengan ningún tipo de PM. La Figura 17, ilustra las fuentes de PM.

Figura 17. Fuente del mantenimiento preventivo (PM)



Fuente: TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PMOptimisation PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman. P.12.

Paso 2. Análisis de Modos de Falla (FMA): se debe involucrar a todo el personal de la planta, se trabajará en equipos multidisciplinarios quienes se encargarán de identificar para qué modos de falla están enfocadas las tareas de mantenimiento. La Tabla 4 ilustra un ejemplo del resultado del Paso 2.

Tabla 4. Ejemplo de análisis de modos de falla (FMA)

Tarea	Frecuencia	Responsable	Falla
Tarea 1	Diario	Operador	Falla A
Tarea 2	Diario	Operador	Falla B
Tarea 3	6 meses	Instalador	Falla C
Tarea 4	6 meses	Instalador	Falla A
Tarea 5	Anual	Electricista	Falla B
Tarea 6	Semanal	Operador	Falla C

Paso 3. Racionalización y revisión del FMA: Ordenando la información por Modos de Falla hace más fácil la identificación de duplicación de tareas. La duplicación de tareas se presenta cuando al mismo Modo de Falla se le aplican varias rutinas de PM por parte de las diferentes especialidades, por parte de los operadores y por parte de los especialistas de monitoreo. En este paso el equipo de trabajo revisa los modos de falla resultado del FMA y agrega aquellos modos de falla faltantes. La lista de los modos se elabora con base en el historial de fallas. La Tabla 5 ilustra el resultado del paso 3. Nótese la adición de la Falla “D”, la cual fue identificada durante el desarrollo de este Paso. La adición de la Falla D puede haber sido resultado de la revisión del historial de fallas y/o de la documentación técnica.

Tabla 5. Ejemplo de la racionalización y revisión del FMA

Tarea	Responsable	Falla
Tarea 1	Operador	Falla A
Tarea 4	Instalador	Falla A
Tarea 7	Mecánico	Falla A
Tarea 2	Operador	Falla B
Tarea 5	Electricista	Falla B
Tarea 3	Instalador	Falla C
Tarea 6	Operador	Falla C
		Falla D

Paso 4. Análisis Funcional: La función que se pierde con cada falla se puede determinar en este paso. Este paso es opcional y se justifica en caso de que se deban realizar análisis a equipos bastante críticos o muy complejos, en donde es esencial el entendimiento detallado de todas las funciones del equipo para el aseguramiento de un programa de mantenimiento sólido. Para aquellos equipos poco críticos o sistemas simples, la identificación de las funciones agrega tiempo y costo, más no beneficios tangibles. La Tabla 6 ilustra el Paso 4.

Tabla 6. Ejemplo del análisis funcional

Tarea	Responsable	Falla	Función
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1
Tarea 4	Instalador	Falla A	
Tarea 7	Mecánico	Falla A	
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 1
Tarea 5	Electricista	Falla B	
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2
Tarea 6	Operador	Falla C	
		Falla D	Función 1

Paso 5. Evaluación de Consecuencias: En este Paso cada modo de falla es analizado para determinar si las fallas son ocultas o evidentes. Para aquellas fallas evidentes se realiza un análisis de riesgos y consecuencias operacionales. La Tabla 7 ilustra el Paso 5.

Tabla 7. Ejemplo evaluación de consecuencias

Tarea	Responsable	Falla	Función	Consecuencia
Tarea 1	Operador	Falla A	Función 1	Operacional
Tarea 4	Instalador	Falla A		
Tarea 7	Mecánico	Falla A		
Tarea 2	Operador	Falla B	Función 1	Operacional
Tarea 5	Electricista	Falla B		
Tarea 3	Instalador	Falla C	Función 2	Oculto
Tarea 6	Operador	Falla C		
		Falla D	Función 1	Operacional

Paso 6. Definición de la Política de Mantenimiento: La filosofía moderna de mantenimiento se basa en la premisa que los programas de mantenimiento exitosos se enfocan más en las consecuencias de las fallas que en los activos en sí. En este paso, cada modo de falla es analizado bajo los principios del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) y se establecen las políticas nuevas o revisadas de mantenimiento haciendo evidente lo siguiente:

- Los elementos del programa actual de mantenimiento que son costos efectivos y los que no lo son, estos últimos deben eliminarse.

- Qué tareas serían más efectivas y menos costosas si fueran basadas en condición, en lugar de llevarlas a falla y viceversa.
- Qué tareas no aportan beneficios y deben ser eliminadas del programa.
- Qué tareas serían más efectivas si se realizaran bajo diferentes rutinas.
- Qué fallas se manejarían mejor por medio del uso de tecnología avanzada o simple.
- Qué tipo de información se debe recolectar para predecir mejor el comportamiento del equipo durante su ciclo de vida.
- Qué fallas se deben eliminar con la ayuda de un Análisis de Causa Raíz (RCA). La Tabla 8 ilustra el paso 6.

Tabla 8. Definición de la política de mantenimiento

Falla	Función	Consecuencia	Política	Rutina
Falla A	Función 1	Operacional	Inspección	Diana
Falla A				
Falla A				
Falla B	Función 1	Operacional	No PM	
Falla B				
Falla C	Función 2	Oculto	Pruebas	Anual
Falla C				
Falla D	Función 1	Operacional	Inspección	Semanal

Paso 7. Agrupación y Revisión: Una vez el análisis de las tareas haya finalizado, el equipo de trabajo establece el método más eficiente y efectivo para administrar el mantenimiento de los activos teniendo en cuenta limitante de producción y otros. En este paso es posible que haya transferencia de responsabilidades en la ejecución de las tareas de PM entre los especialistas de mantenimiento y los operadores para lograr eficiencia y ganancias en producción.

Paso 8. Aprobación e Implementación: En este Paso, el resultado del análisis se presenta a la alta dirección para su revisión y comentarios. El equipo de trabajo realiza la presentación muestra de forma detallada los cambios a implementar y su justificación. Una vez se ha aprobado el programa, inicia la etapa más importante

su implementación. La implementación es la etapa que consume más tiempo y en que se pueden presentar más dificultades. Es importante ejercer liderazgo y estar atento a los detalles para hacer de la implementación un éxito. Las dificultades en la implementación se incrementan considerablemente en organizaciones que cuentan con muchos turnos y en aquellas organizaciones conservadoras.

Paso 9. Programa Dinámico: Durante el desarrollo de los Pasos 1 al 9, el proceso de ha establecido una estructura racional y costo efectiva de PM. En el “Programa Dinámico”, el plan de PM se consolida y se toma control de la planta, cuando se reemplaza el mantenimiento reactivo por uno planeado. De este punto en adelante el mejoramiento puede acelerarse fácilmente y los recursos que se liberan pueden enfocarse a corregir defectos de diseño o limitaciones inherentes a la operación. Durante este paso, varios de los procesos vitales de la Gestión de los activos pueden afinarse mientras la rata de mejoramiento se acelera. Estos procesos son:

- Estrategia de Producción y Mantenimiento.
- Medición de Desempeño
- Reportes y Eliminación de Fallas.
- Planeación y Programación.
- Gestión de Inventarios.
- Workshops y Prácticas de Mantenimiento.

La intención final de PMO es la de crear una organización que busca continuamente su mejoramiento, para ello hay que crear conciencia que es importante evaluar las todas las tareas que se ejecutan y todas las fallas que se presenten. Para lograr las metas es importante contar con personal capacitado en técnicas de análisis e igualmente contar con la motivación al personal por parte de la dirección para crear en el trabajador un sentido de pertenecía, de compromiso y de creatividad para mejorar su trabajo y optimizar costos de producción.

La única debilidad válida de PMO comparado con RCM, para una planta que ya está en operación es que PMO no lista absolutamente todos los modos de falla. Esto puede ser muy importante desde la perspectiva del manejo de inventarios, sin embargo, sí el objetivo y la motivación de la realización de un análisis de mantenimiento es el de generar un plan de mantenimiento efectivo y con enfoque claro, esta debilidad es irrelevante.

4.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

4.4.1 Definición de Falla. Como lo describe Borrás⁸ en su libro Mantenimiento Preventivo, aunque existen numerosas definiciones de falla en el contexto operacional y de mantenimiento podemos definir la falla; como la incapacidad de cualquier equipo o instalación (activo) a realizar la función que el usuario definió que hiciera.

Fallas funcionales y estándares de funcionamiento: Anteriormente se ha determinado que cuando un activo no realiza las funciones que el usuario quiere que realice este ha fallado y que cada activo tiene más de una función (cualquier cosa que deba realizar), lo que conlleva a que cada activo puede ser afectado por diversas fallas de donde se debe determinar si la falla afecta una o más funciones. El estándar de funcionamiento está dado por el límite entre el funcionamiento satisfactorio y la falla, dado que el estándar de funcionamiento es aplicado a funciones individuales se determina la falla funcional como la misma definición de falla.

⁸ BORRÁS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Escuela de Ingeniería Mecánica- Universidad Industrial de Santander, 2013. P.8, 11.

4.4.2 Análisis de Modos de Falla. Luego de definir lo que significa una falla y los parámetros de funcionamiento, ahora es necesario aclarar los modos de falla causantes de las llamadas fallas funcionales y determinar los efectos de falla asociados a cada falla funcional, esto se realiza a través de un análisis de modos de falla y efectos (AMFE) para cada falla funcional.

Para iniciar es necesario definir modo de falla donde se refiere a cualquier evento que pueda causar la falla de un equipo, instalación o activo, para tener claridad sobre la relación del evento que cause la falla funcional se sugiere establecer un formato en donde se describa la función, la falla funcional (perdida de función) y el modo de falla (causa de la falla), esta descripción debe ser la suficientemente clara y detallada para determinar la estrategia de manejo de falla apropiada, pero a su vez clara y concisa en pro de ahorro de tiempo en el análisis.

4.4.3 Métodos de análisis de los modos de falla. Métodos explicados por el Ing. Borrás⁹, se debe realizar un profundo análisis para llegar exitosamente a la implementación de la metodología adecuada según el caso de aplicación o de estudio de fallo.

4.4.3.1 Método de Análisis de los Modos de Falla, Efecto y su Criticidad (FMECA). Se aplica siempre y cuando se conozcan las fallas funcionales, todos los modos de falla que pueda tener un equipo y las causas que las producen. En este proceso se analiza los modos de Falla y sus Efectos, pero no se investiga la falla en sí; además determina la criticidad de un componente basándose en la criticidad de los modos de falla que pueda presentar éste.

⁹ BORRÁS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Escuela de Ingeniería Mecánica- Universidad Industrial de Santander, 2013. P.21, 24.

4.4.3.2 Análisis de Causa Raíz (RCA). La causa raíz es el origen del cual procede el efecto de falla visible. Un sistema o equipo puede tener diversos modos de falla, pero cada modo de falla tiene una única causa raíz. RCA es una metodología científica, compleja, lógica y sistemática para hallar la causa raíz de una falla mediante la verificación de las causas probables de falla y su corrección y/o mitigación. Esta metodología le otorga gran importancia a la implementación de la solución más óptima, proporcionando las herramientas para su evaluación y selección.

4.4.3.3 Análisis y Diagramas de Pareto. Es comúnmente llamado búsqueda de significancia o análisis ABC, es una herramienta avanzada genérica de mantenimiento para identificar y jerarquizar datos, con el fin de mostrar que elementos componen el tema que se está analizando.

Éste permite, mediante una representación gráfica o tabular, conocida como diagrama de Pareto, identificar en una forma decreciente los aspectos que se presentan con mayor frecuencia o que tienen una ponderación o incidencia mayor. Aplicando el análisis de Pareto se pueden detectar los problemas que tienen más relevancia, mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales), conocido también como la regla 80/20 que dice que hay muchos problemas sin importancia frente a sólo unos graves, es decir, que el resultado de un proceso dependerá esencialmente de un número pequeño de los factores que intervienen en el mismo. Si se logra determinar cuáles son estos factores vitales se puede concentrar recursos en el estudio de los mismos con lo que se resuelve la mayoría del problema, de donde se deriva la famosa frase de Pareto aplicando la atención a los pocos asuntos vitales, se consigue la máxima eficacia y rendimiento de los recursos dedicados. Por lo tanto, el análisis de Pareto es una técnica que separa los pocos vitales de los "muchos triviales".

En el diagrama se organizan las diversas clasificaciones de datos, que representan los elementos o factores constituyentes de un problema o tema analizado, por orden descendente de izquierda a derecha por medio de barras sencillas o por una línea continua que une los puntos después de haber reunido los datos para calificar las categorías. De modo que se pueda asignar un orden de prioridades. El diagrama permite identificar visualmente en una sola revisión las minorías de características vitales a las que es importante prestar mayor atención y de esta manera priorizar recursos para llevar a cabo una acción correctiva sin malgastar esfuerzos y tiempo. Con frecuencia, un aspecto puede representar el 80. Es importante profundizar en lo que significa el Análisis ABC, este consiste en identificar las tres zonas que se pueden presentar en un análisis de búsqueda de significancia. La zona A del pareto, representa la zona de mayor impacto, el 20.

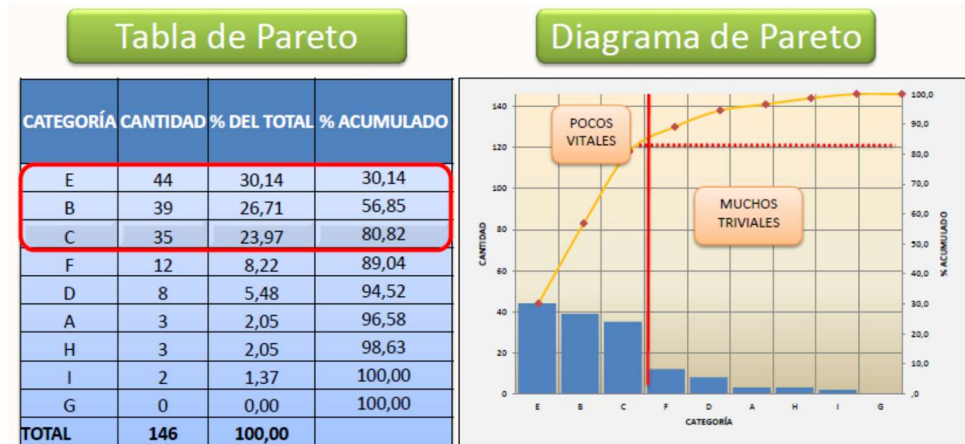
Objetivos del análisis de pareto: En general el análisis de pareto es una de las herramientas estadísticas de mantenimiento más útiles y sus aplicaciones en el área de mantenimiento sólo están limitadas por el ingenio del analista.

Realizar el análisis de pareto tiene como objetivos:

- Identificar oportunidades para llevar a cabo mejoras.
- Identificar un producto o servicio que requiera un análisis más exhaustivo.
- Identificar los sistemas, equipos o elementos que están causando la mayoría de problemas a mantenimiento y/o producción.
- Documentar de manera científica y sistemática los llamados de atención a un área o sector problemático.
- Analizar las diferentes agrupaciones de datos.
- Buscar las causas principales de los problemas y establecer la prioridad de las soluciones.
- Evaluar los resultados de los cambios efectuados a un proceso (antes y después).

- Expresar los costos que significan cada tipo de falla y los ahorros logrados mediante el efecto correctivo llevado a cabo a través de determinadas acciones.

Figura 18. Diagrama de Pareto



Fuente: BORRÁS PINILLA, Carlos. Conceptualización para el Mantenimiento Preventivo, 2013. P.55.

4.4.4 Indicadores de Confiabilidad.

- **Indicador:** La definición más usual de un indicador es: un hecho cuantificado que mide la eficacia y/o la eficiencia de todo o parte de un proceso o de un sistema (real o simulado), con referencia a una norma, un plan o a un objetivo, determinado o aceptado en un cuadro estratégico de la empresa. Los Indicadores Clave de Desempeño (KPI) son mediciones cuantificables, acordadas de antemano, que reflejan los factores críticos de éxito de una organización.

- **Confiabilidad:** Es la probabilidad de un elemento para realizar una función requerida bajo condiciones dadas para un intervalo de tiempo dado¹⁰.

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad \text{Ecuación 1.}$$

R(t) = Confiabilidad

t = Intervalo de tiempo para la evaluación.

λ = Tasa de falla (Número de fallas por unidad de tiempo).

$$\lambda = 1/MTBF \quad \text{Ecuación 2.}$$

- **Disponibilidad:** Es la capacidad de un activo o componente para estar en un estado (arriba) para realizar una función requerida bajo condiciones dadas en un instante dado de tiempo o durante un determinado intervalo de tiempo, asumiendo que los recursos externos necesarios se han proporcionado.

La modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde si se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad, hasta llegar al uso de simulaciones tipo Montecarlo”. Las más empleadas son: Disponibilidad Genérica, Disponibilidad Inherente, Disponibilidad Alcanzada, Disponibilidad Operacional y Disponibilidad Operacional Generalizada. Para este caso en particular, se debe emplear la Disponibilidad Operacional. “Si se tiene en cuenta los tiempos logísticos y administrativos de demoras, en la gestión del mantenimiento y en la operación de equipos, antes o después de una

¹⁰ INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries: Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment Second edition, 2006. p. 7. (ISO 14224)

intervención correctiva o planeada, se debe considerar la disponibilidad operacional. La disponibilidad está definida por la siguiente fórmula:

$$\text{Disponibilidad} = (TT - MT) / TT \quad \text{Ecuación 3.}$$

Dónde: TT = Tiempo Total: Es la suma de todo el tiempo requerido por los departamentos operacionales para el uso de la maquinaria o equipo.

MT= Tiempo de Mantenimiento: Es todo el tiempo que un equipo no está disponible por razones asociadas con la función del mantenimiento. Este tiempo incluye mantenimiento programado, mantenimiento no programado y paros por fallas.

- **Mean Time Between Failure – MTBF:** Es el promedio de tiempo entre ocurrencia de fallas. Equivale a la suma del tiempo operativo de la máquina dividido entre el número total de fallas.

$$\text{MTBF} = \frac{t'}{\# \text{ Fallas}} \quad \text{Ecuación 4.}$$

t' = Tiempo de servicio del activo

- **Mean Time To Repair – MTTR:** Es el tiempo promedio para restaurar un equipo a una condición específica. Equivale al tiempo total gastado desarrollando todas las reparaciones de mantenimiento correctivo, dividido por el número total de esas reparaciones.

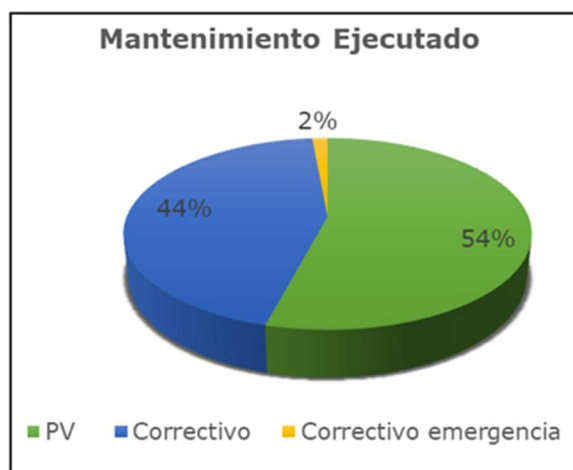
5 RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

5.1 HISTÓRICO DE LOS MANTENIMIENTOS REALIZADOS A LOS EQUIPOS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA GDP CAMPO CUSIANA

5.1.1 Análisis del histórico de los mantenimientos preventivos y correctivos del sistema eléctrico del CPF-Cusiana. Del Sistema Computarizado de Administración de Mantenimiento “CMMS”, tomamos la data del histórico de los mantenimientos preventivos, correctivos y correctivos por emergencia realizados en los años 2017, 2018 y 2019 a los equipos del sistema eléctrico de la Gerencia de Operaciones de Desarrollo y Producción Campo Cusiana.

El 54% de las horas hombre fue dedicado al mantenimiento preventivo, el 44% al mantenimiento correctivo y el 2% a los mantenimientos correctivos por emergencia. (Ver Figura 19).

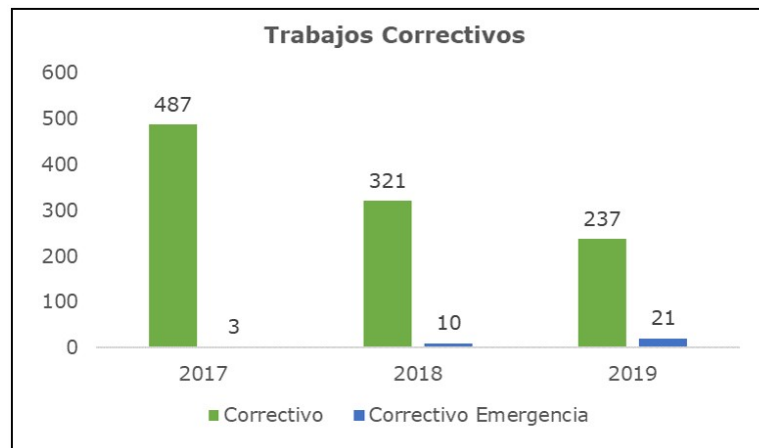
Figura 19. Gráfica de los mantenimientos realizados en los años 2017, 2018 y 2019 CPF-Cusiana



Para el caso de la distribución de los mantenimientos correctivos realizados a los equipos del sistema eléctrico del Campo Cusiana, en el año 2017 se ejecutaron 487

trabajos correctivos y 3 correctivos por emergencia, en el año 2018 se ejecutaron 321 correctivos y 10 correctivos por emergencia y para el año 2019 disminuyeron los correctivos a 237 pero se incrementaron los correctivos por emergencia a 21. (Ver Figura 20).

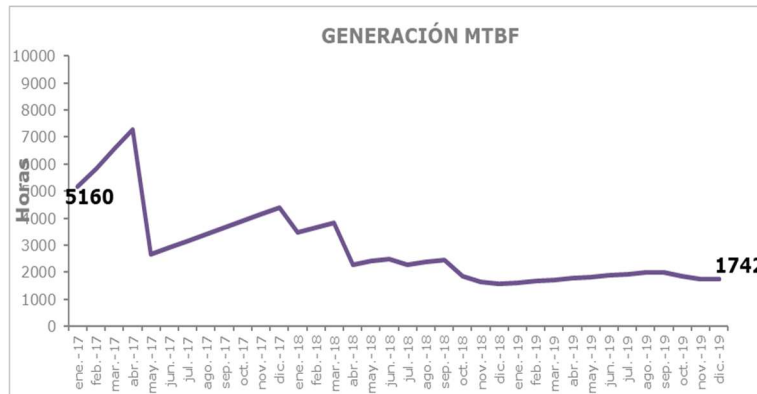
Figura 20. Gráfica distribución de trabajos correctivos 2017, 2018 y 2019



5.2 ANÁLISIS DE LOS INDICADORES DE CONFIABILIDAD

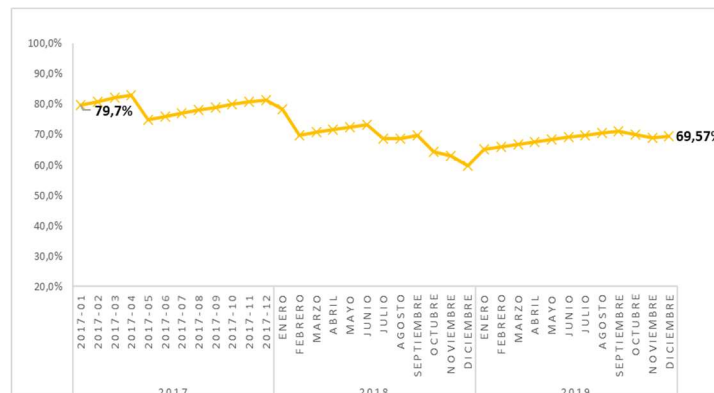
5.2.1 Tiempo medio entre fallas (MTBF). A continuación, se muestra el tiempo medio entre fallas (MTBF) del sistema de generación del CPF-Cusiana, el MTBF se encuentra acumulado desde enero 2017 a diciembre 2019. El sistema de generación tiene una falla promedio cada 1,7 meses (1544,4 horas); (Ver Figura 21).

Figura 21. Gráfica MTBF Sistema de Generación CPF-Cusiana



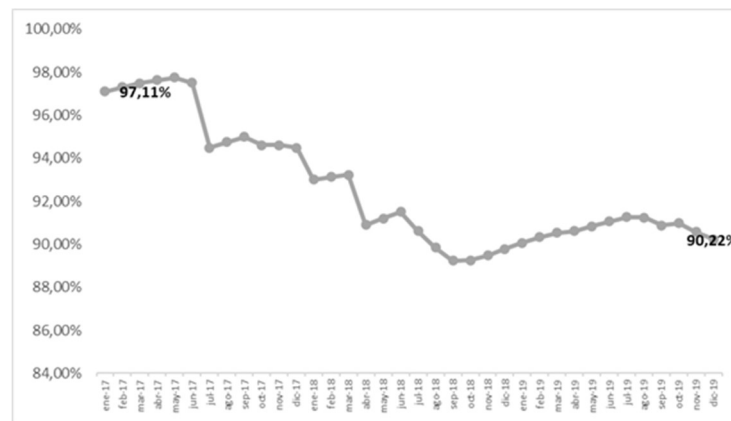
5.2.2 Confiabilidad. En la figura 22 se muestra la confiabilidad acumulada desde enero 2017 a diciembre 2019 del sistema de generación del CPF-Cusiana (69,57%); se observa una disminución en la confiabilidad ocasionada por el aumento de fallas presentadas en los componentes y equipos asociados a los Turbo-Generadores.

Figura 22. Gráfica de Confiabilidad Sistema Generación CPF-Cusiana



5.2.3 Disponibilidad. En la figura 23 se visualiza la disponibilidad operativa acumulada desde enero 2017 a diciembre 2019 del sistema de generación del CPF-Cusiana; la disponibilidad actual es de 90,22%, se observa una disminución ocasionada por el aumento del tiempo requerido para corregir las fallas presentadas en los componentes y equipos asociados a los Turbo-Generadores a causa del no cumplimiento de los mantenimientos mayores programados teniendo en cuenta las recomendaciones dadas por los fabricantes en los manuales de los equipos.

Figura 23. Gráfica de disponibilidad Sistema Generación CPF-Cusiana



5.2.4 Análisis de malos actores de mantenimiento. Como se puede observar en los indicadores anteriormente mencionados, los sistemas operativos del CPF-Cusiana tienen un alto nivel de fallas, algunas recurrentes y otras aleatorias pero que impacta negativamente en las metas de la organización.

Un programa de malos actores ayuda a reducir el número de fallas durante la implementación de soluciones en un proceso de análisis de causa raíz. Los malos actores son sistemas y equipos con una gran cantidad de paradas, emergencias y reparaciones correctivas que supuestamente no tienen razón de ser y que concentran la mayor cantidad de horas hombre, altos costos de materiales y pérdidas de producción. A continuación, se citan los malos actores de los equipos del sistema eléctrico del Campo Cusiana.

Para determinar e identificar la lista de los “malos actores” tomamos como referencia desde el CMMS los reportes de los correctivos ejecutados en los años 2017, 2018 y 2019; la información de reporte de fallas, llamados de emergencias, las pérdidas de producción y los costos de mantenimiento entre otros. Se determina la confiabilidad para cada sistema y equipo, usando el Mean Time Between Failure (MTBF), los costos, el número de fallas y las pérdidas de producción en un periodo predeterminado, con esta información se realiza el análisis y se determina cuáles son los equipos “malos actores” para luego definir las acciones a implementar para el mejoramiento continuo.

Tabla 9. Análisis de fallas por tipo de equipos

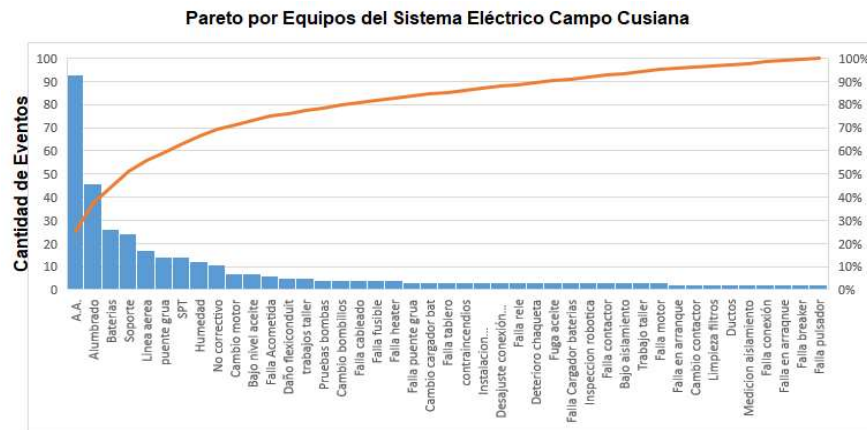
Ítem	Tipo de equipo	Cantidad eventos (ODM)
1	Aires Acondicionados	93
2	Alumbrado	46
3	Baterías y cargador de baterías	26
4	Línea aérea	17
5	Puente grúas	14
6	Sistemas de puestas a tierra	14

5.2.5 Análisis de Pareto e identificación de modos de falla. Una vez identificado los malos actores de mantenimiento del sistema eléctrico del Campo Cusiana, realizamos el análisis de pareto.

El análisis de pareto se realiza por modos de falla y cantidad de eventos no deseados para identificar cuáles son los equipos donde se generan más fallas. (Ver Figura 24).

El análisis de pareto se realiza teniendo en cuenta la documentación del mantenimiento consignada en las órdenes de trabajo correctivas generadas en el sistema CMMS.

Figura 24. Gráfica de Pareto por Equipos del Sistema Eléctrico



5.2.6 Revisión Análisis de Causa Raíz. El área de Confiabilidad enfoca su gestión en diferentes procesos como son los indicadores de confiabilidad, análisis y reporte de fallas; para la identificación de malos actores con el fin de generar oportunidades de mejora que impacten de forma positiva a las diferidas de producción, la reducción del riesgo y costos óptimos de mantenimiento.

El Análisis de Causa Raíz aplica para todos los eventos de falla que hayan generado un impacto a las personas, el medio ambiente, económico, a los clientes y a la imagen de la empresa. Así mismo aplica para los equipos que conforman el sistema eléctrico del Campo Cusiana.

En el proceso de Análisis de Causa Raíz se contemplan principalmente las siguientes etapas:

- Registro de parada (reporte preliminar 24 horas). Este informe se entregará máximo 24 horas después de ocurrido el evento de falla.
- Valoración del impacto de la falla (Matriz RAM).
- Ejecución del instructivo de Análisis de Causa Raíz.
- Seguimiento al cumplimiento de acciones correctivas y recomendaciones.
- Divulgación del ejercicio de análisis de falla.

- Seguimiento a la efectividad de las acciones correctivas y recomendaciones de cada análisis, especialmente de los eventos esporádicos de cualquier impacto que sean analizados.

La selección del equipo de Análisis de Causa Raíz está a cargo del facilitador y/o Ingeniero de Técnicas de Confiabilidad, y debe estar compuesto por las personas involucradas en el evento, Especialistas del área(s), Operadores, Técnicos de diferentes disciplinas y todo aquel que dentro del análisis puede aportar valiosamente en la búsqueda de la causa raíz. Adicionalmente, tiene a cargo la labor de informar al Coordinador de Mantenimiento para aprobación del personal requerido.

A continuación, se relacionan los aspectos importantes del Análisis de Causa Raíz realizado al modo de falla “Durante el arranque de prueba posterior al mantenimiento mayor del turbogenerador GTB-80003, se presentó alta vibración en el generador eléctrico”.

- **Análisis De Causa Raíz Campo Cusiana 04-12/2019: RCA-GDP-ELE-20-001, Durante el arranque de prueba posterior al MOH del turbogenerador GTB-80003, se presenta alta vibración en el generador eléctrico.**

Descripción del evento de falla: Durante el arranque de prueba posterior al MOH del turbogenerador G-80003, se presenta alta vibración (Trip 5.1 mm/sg pico – Alarma 5.1 mm/sg pico) en el generador eléctrico.

Valoración de la falla: Según la matriz RAM de Ecopetrol, la valoración se realiza así: Consecuencia: E (Económica USD\$); 3, Probabilidad: C (Ha ocurrido en la empresa en los últimos 10 años); Riesgo: M (Medio), la cual amerita realizar un Análisis de Causa Raíz según el procedimiento de Ecopetrol.

Figura 25. Matriz RAM de Ecopetrol S.A.

CONSECUENCIAS					No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa o en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa en los últimos 10 años	Sucede varias veces al año en la Empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años	Sucede varias veces al año en el Departamento. Puede ocurrir en el transcurso del año	
CATEGORÍAS					A	B	C	D	E	
PERSONAS	ECONÓMICA (USDs)	AMBIENTAL	CLIENTES	REPUTACIÓN	PROBABILIDAD					
Una o más Fatalidades de trabajadoras o incapacidades	Mayor a 10 Millones	Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad Permanente (Total o Parcial) de trabajadoras o Incapacidad temporal de personal de la comunidad	Mayor a 1 Millón y Menor o Igual a 10 Millones	Importante	Pérdida de clientes de participación en el mercado sensible o prioritario	Nacional y con rechazo de un grupo de interés	4	L	M	H	H	H
Incapacidad Temporal (Mayor o Igual a 1 Día) de trabajadoras y hospitalización en centros asistenciales de personal de la comunidad	Mayor a 100.000 y Menor o Igual a 1 Millón	Localizada	Desabastecimiento y/o Pérdida de Clientes	Nacional y sin grupo de interés	3	N	L	M	H	H
Lesión Menor (Sin Incapacidad) en trabajadoras o Primeros Auxilios, sin hospitalización y/o personal de la comunidad	Mayor a 10.000 y Menor o Igual a 100.000	Menor	Quejas y/o Reclamos	Nacional y baja importancia	2	N	N	L	M	M
Lesión Leve de trabajadoras (Primeros Auxilios)	Menor a 10.000	Leve	Incumplimiento de Especificaciones solucionado	Local y baja importancia	1	N	N	N	L	L
Sin Lesión	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	0	N	N	N	N	N

RAM: E3C=M

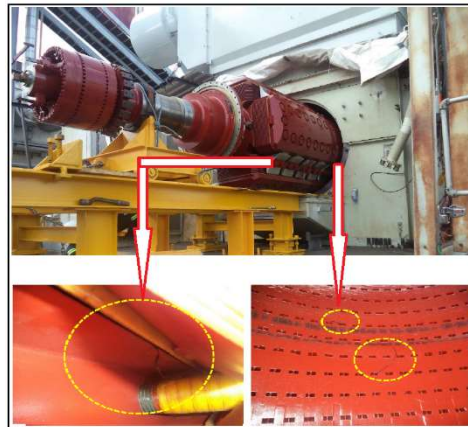
Fuente: Procedimiento de Analisis de Causa Raiz Ecopetrol S.A.

Secuencia de la falla: Sobre las 14:00 se inician pruebas de arranque posterior al mantenimiento mayor de la unidad y cambio del rotor del generador, la unidad presenta amplitudes de vibración aceptables hasta velocidad de crank de la turbina 1300 rpm y 450 rpm en el rotor del generador. Durante la rampa de aceleración de la unidad se incrementa la vibración en los cojines del generador, llegando a valores de alarma (3.9 mm/sg pico) y posterior activación de la protección (5.1 mm/sg pico). El evento de vibración identificado es la frecuencia fundamental del rotor del generador (1X). Se inició con el siguiente plan de verificaciones para descartar las posibles causas de la vibración (alineación, balanceo del rotor).

Antecedentes de la falla: El rotor del generador marca Peebles de 20MW, fue reparado en taller externo, donde se le realiza desensamble a los polos para limpieza, cambio de aislamiento entre extremo de placas de bobinas y empaques entre rotor y bobina.

Evidencias y hallazgos: Durante la extracción de rotor reparado en taller externo, se identifica desprendimiento de empaque entre la base del rotor y la placa de baquelita de la bobina y se encuentran segmentos de empaque en el estator que hacen parte del polo. (Ver Figura 26).

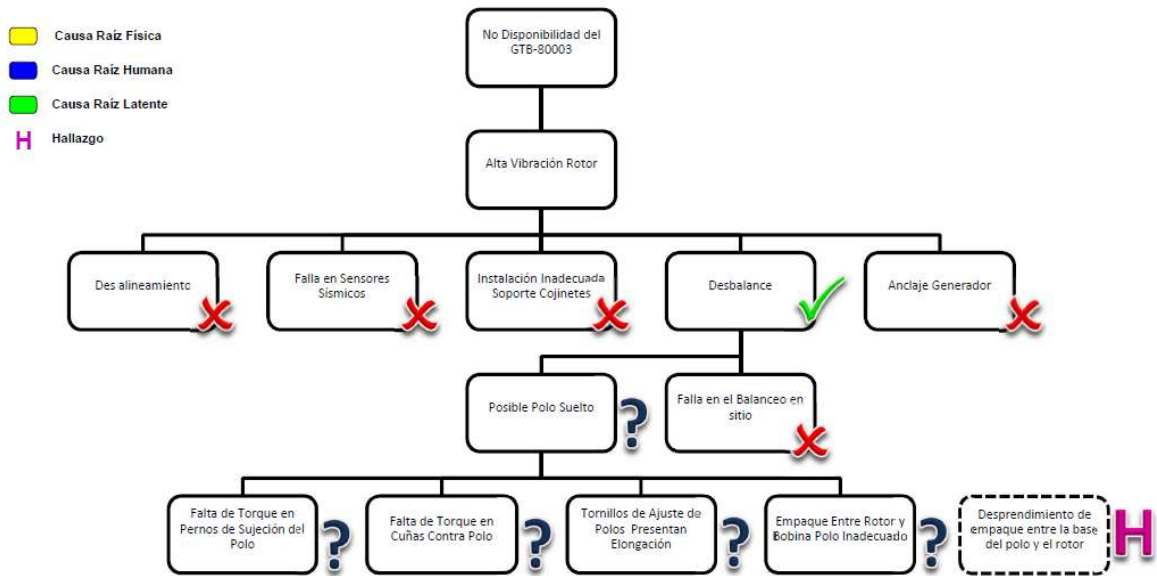
Figura 26. Evidencias y hallazgos del rotor del generador una vez extraído



Fuente: Registro de análisis de falla RCA-GDP-ELE-20-001.

Análisis de Causa Raíz de la Falla: Después de haber revisado los antecedentes, se realiza el árbol lógico de falla (Ver Figura 27), donde se evalúan los sistemas asociados y se generan hipótesis las cuales deben ser validadas o descartadas.

Figura 27. Árbol lógico de falla



Fuente: Registro de análisis de falla RCA-GDP-ELE-20-001.

Una vez validadas o descartadas las hipótesis, se identifica la causa raíz del problema, y se generan las acciones de verificación para evitar la recurrencia del evento. (Ver Tabla 11).

Tabla 10. Acciones de verificación, Análisis de Causa Raíz

Hallazgo	Soluciones	Responsable
Falta de Torque en Pernos de Sujeción del Polo	Verificar en taller externo torque a los tornillos de sujeción del polo, según fabricante deben estar en 22800 N-m	Ecopetrol/Stork
Falta de torque en soporte de la bobina del rotor	Verificar en taller externo torque a los tornillos de sujeción del soporte de la bobina con el rotor (68 N-m).	Ecopetrol/Stork
Tornillos de ajuste de Polos Presentan Elongación	Verificar en taller externo. Medir la longitud de uno de los pernos de sujeción antes y después de aplicar el torque de las 22800 N-m para estimar una posible deformación del perno.	Ecopetrol/Stork
Empaque Entre Rotor y Bobina Polo Inadecuado	Verificar el estado del empaque que se ubica entre la bobina y el rotor. Durante la operación se observó desprendimiento de este material.	Ecopetrol/Stork
	Verificar los procedimientos de reparación, QA/QC, especificaciones técnicas de materiales, herramientas, equipos, certificaciones.	Ecopetrol/Stork

Fuente: Registro de análisis de falla RCA-GDP-ELE-20-001.

6 OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL CPF-CUSIANA

Los fundamentos de la optimización del plan de mantenimiento del sistema del sistema eléctrico del CPF-Cusiana, están basados en la aplicación de las técnicas de confiabilidad vistas en el capítulo anterior. Después de haber identificado los malos actores de mantenimiento, se aplicó la metodología de pareto para visualizar los equipos con mayor cantidad de eventos y los modos de falla asociados.

6.1 ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA, IDENTIFICACIÓN DE CAUSAS RAÍZ Y PLANES ACCIÓN

La mayor cantidad de los eventos corresponde al modo de falla son “falla en demanda / conexiones inadecuadas / baja presión / sobre carga y fugas en unidades de aires acondicionados”; los cuales hacen parte de los equipos del sistema eléctrico del Campo Cusiana. En la Tabla 10 se describen los modos de falla identificados en el análisis de malos actores y pareto. Los sistemas asociados a los modos de falla con mayor cantidad de eventos son: Aires Acondicionados, Alumbrado, baterías y cargadores de baterías, línea aérea 13,8KV, puente grúas y sistemas puesta a tierra.

Para cada uno de los modos de falla identificados se realiza un análisis de causa raíz, donde se plantean hipótesis, las cuales son verificadas o descartadas para llegar finalmente a la identificación de las causas y propuesta de planes de acción que eviten la recurrencia de dichos modos de falla.

Tabla 11. Plan de acción por tipo de equipo y modo de falla

Tipo de equipo	Modo de falla	Plan de acción
Aires Acondicionados	Falla en demanda / conexiones inadecuadas / baja presión / sobre carga / fugas	<p>*Durante el año 2017 y 2018 se realizó cambio del tipo de aire por obsolescencia; de tipo ventana a mini Split.</p> <p>*Se creó estrategia de mantenimiento para los nuevos aires en el año 2018.</p> <p>*Actualmente se está realizando proyecto para la actualización del sistema de aires en áreas de proceso y oficinas administrativas.</p>
Alumbrado	Operación Inesperada	<p>*Se realizó cambio de lámparas a tipo LED del área de planta de gas (80%) Y LPG (100%).</p> <p>*Se realizó cambio de lámparas a tipo LED en 2 shelter de reinyección y en los compresores Boosting.</p> <p>*Se inició cambio de iluminarias tipo LED en algunas áreas de la planta de acuerdo a disponibilidad de repuestos.</p> <p>*Por presupuesto 2019, 2020 y 2021 no se autorizó para iluminarias LED por mantenimiento. Se está realizando la compra por proyectos.</p>
Baterías y cargadores de baterías	Sobre -temperatura / desviación de parámetros / falla voltaje de salida	<p>*Se realizó cambio de baterías de las UPS's y adecuación de los racks de baterías para facilitar el mantenimiento.</p> <p>*Se envió Moc (manejo del cambio) para cambio de cargador de baterías Cuarto de Control.</p>
Línea aérea 13,8KV.	Falla de funcionamiento en demanda / falla voltaje de salida	<p>*Se instalaron pararrayos, puestas a tierra y cambio de transformadores.</p>
Puente grúas	Falla de funcionamiento en demanda / Operación Inesperada	<p>*Se identificó que los puentes grúa del Boosting y gas ácido no tienen estrategia de mantenimiento. Se debe crear estrategia.</p>
Sistemas de puesta a tierra	Deficiencia Estructural/ Medida por encima de la especificación deseada	<p>*Por campaña se realizó corrección a puntos del sistema puesta tierra y apantallamiento de acuerdo a recomendaciones del estudio de Gers (2017-2018), actualmente por proyectos se está realizando la ejecución de recomendaciones adicionales en el sistema de apantallamiento por recomendaciones estudio de Gers.</p>

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2 REVISIÓN DEL FMEA E HISTORIAL DE LA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO ESTRUCTURADA EN SAP

6.2.1 Estrategia de Mantenimiento para Transformadores de Potencia.

Actualmente la estrategia de mantenimiento de los transformadores contempla el alcance mencionado en la Tabla 12; todas las tareas preventivas (PV) están a cargo del área de electricidad y las tareas predictivas (PD) a cargo del área de CBM, de acuerdo al PMO realizado en el año 2017.

Tabla 12. Actividades de mantenimiento para transformadores de potencia según el PMO del año 2017

TRANSFORMADORES		
Frecuencia	Tipo	Actividades Preventivas y Predictivas actuales en SAP
360	PV	1) Inspección general del estado del transformador: posibles fugas de aceite, daños en el tanque principal, manómetros deteriorados, fugas de aceite en radiador, daño en los sellos de los aisladores.
360	PV	2) Limpieza general del transformador, retocar partes oxidadas.
360	PV	3) Limpie y examine los aisladores Primario / Secundario (Bushings).
360	PV	4) Inspección Eléctrica: conexiones flojas o sueltas, recalentadas, oxidadas o sulfatadas.
360	PV	5) Inspeccione y limpie los sistemas de puesta a tierra.
360	PV	6) Inspeccione y limpie el intercambiador de conexión o Tap.
360	PV	7) Realizar prueba de relación de transformación.
360	PV	8) Realizar prueba de Resistencia de Bobinas.
360	PV	9) Factor de potencia del aislamiento.
360	PV	10) Realizar prueba de resistencia de Aislamiento Eléctrico: Primario vs. Secundario, Primario vs. Tierra y Secundario vs. Tierra. Prueba de medición de corriente de excitación. Realizar prueba de monitoreo de vibraciones y ultrasonido.
360	PV	11) Prueba Funcional de protecciones del transformador: Temperatura, presión, etc.
360	PV	12) Realizar limpieza y pruebas de aislamiento a aisladores pasa tapas.
360	PV	13) Realizar limpieza y pruebas de aislamiento a pararrayos.
360	PV	14) Revisión y pruebas de aislamiento de cables de potencia.
360	PV	15) Pruebas de estanqueidad al tanque conservador.
360	PV	16) Verificar medidas de protección contra presencia de animales.
360	PV	17) revisión al sistema de extracción del aire del transformador.
360	PV	18) Inspección, calibración y pruebas de sensores de monitoreo.
360	PV	19) Realizar inspección y limpieza de ventiladores del transformador.

360	PV	20) Inspección, calibración y pruebas de Instrumentación asociada.
360	PD	21) Usando cámara termo gráfica infrarroja; inspeccione y registre termo gramas y fotografías de los diferentes componentes del transformador como: Aisladores Primario / Secundario (Bushings), intercambiador de conexión o Tap, Cables de potencia, Conexiones (conos termo encogibles), radiadores de calor, tanque de aceite, motores de ventilación forzada, tablero de control del transformador, etc. Realizar análisis de las termo gramas en software y advierta lo puntos calientes y anomalías de origen térmico. Análisis de la muestra y análisis de tendencia. Realizar reporte y generar las ordenes de trabajo para los correctivos identificados.
360	PD	22) Toma y análisis de muestra de aceite.
INTERRUPTOR DE MEDIA Y BAJA TENSIÓN		
360	PV	1) Inspección mecánica (resortes deformados u oxidados, tuercas y tornillos flojos, piezas con desgaste excesivo o quebradas, etc.).
360	PV	2) Limpieza general.
360	PV	3) Lubricación de mecanismos.
360	PV	4) Medición de ajustes mecanismos (ver Catalogo fabricantes).
360	PV	5) Inspección Eléctrica (conexiones flojas o sueltas, recalentadas, oxidadas, etc.).
360	PV	6) Reajuste conexiones de control del interruptor.
360	PV	7) Revisión y retorqueo cableado control de la celda.
360	PV	8) Prueba manual mecánica de la operación del interruptor.
360	PV	9) Prueba y Maniobra de inserción y extracción del interruptor.
360	PV	10) Pruebas Eléctricas del Interruptor:
360		• Aislamiento Eléctrico Fase - Fase y Fase – Tierra.
360		• Medición de aislamiento de circuitos de control (baja tensión).
360		• Medición de rigidez dieléctrica del medio aislante del Interruptor (Air circuit breakers, Vacuum circuit breakers, Gas (SF6) circuit breakers, Oil circuit breakers).
360		• Verificación de presión de gas en cámaras o polos (SF6).
360		• Medición de resistencia de contactos principales.
360		• Medición de tiempos de apertura y cierre de contactos.
360		11) Inyección secundaria de Protecciones Eléctricas según estudio de protecciones.
360		12) Prueba Funcional con Inyección Primaria.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Después de realizadas las sesiones del PMO con Autoridad Tècnica Elèctrica de Ecopetrol, Ingeniero Senior de Confiabilidad, Supervisor O&M Elèctricidad, Lìder CBM, Planeador Electricidad Stork, se decidió plantear la estrategia como se relaciona a continuacion:

- Cambio de frecuencia a bianual, de acuerdo a la data revisada en SAP no se presentaron fallas recurrentes en los tranformadores, interruptores y reles, adicional se considero el volumen de tranformadores de los dos campos.

- Crear una PM con puesto de trabajo responsable CBM que contenga tanto las pruebas predictivas a los transformadores, interruptores y relés, así como sus respectivas tareas preventivas eléctricas (tareas con puesto ejecutor CBM y Eléctrico).
- Crear una rutina mensual en las Rondas Operativas Estructuradas “REVO” para las tareas operativas en los transformadores de potencia.

En la Tabla 13 se especifica el alcance, frecuencia y tipo de tarea de la nueva estrategia según el PMO realizado para transformadores, interruptores y Relés de protecciones eléctricas:

Tabla 13. Nueva estrategia de mantenimiento para transformadores de potencia según el PMO año 2019

TRANSFORMADORES			
Frecuencia	Tipo	Recurso	Actividades de Mantenimiento
Mensual/ REVO	OP	OP	1) Toma y/o verificación de: Voltaje Primario, Corriente Primario, Voltaje Secundario, Corriente Secundario, Nivel de aceite, Temperatura aceite, Temp. devanados Temp. Máx., Presión de vacío, Fugas, Ruido, Alarmas
Bianual	PD	CBM	1) Prueba de resistencia de aislamiento (Prim Vs. Sec, Prim Vs GND, Sec Vs GND).
Bianual	PD	CBM	2) Corriente de excitación.
Bianual	PD	CBM	3) Resistencia de óhmica de devanados.
Bianual	PD	CBM	4) Factor de potencia.
Bianual	PD	CBM	5) Prueba funcional de protecciones del transformador mecánicas y eléctricas (temperatura, presión).
Bianual	PD	CBM	6) Revisión y pruebas de aislamiento Cables de potencia
Bianual	PD	CBM	7) Pruebas de resistencia de aislamiento a los aisladores pasa tapas.
Bianual	PD	CBM	8) Pruebas de resistencia aislamiento a pararrayos
Bianual	PD	CBM	9) Análisis Muestras de aceite.
Bianual	PV	ELE	1) Conexión y desconexión de cables de potencia.
Bianual	PV	ELE	2) Limpieza general del transformador, retocar partes oxidadas
Bianual	PV	ELE	3) Limpiezas de aisladores primarios y secundarios
Bianual	PV	ELE	4) Inspección y limpieza de sistemas de puestas a tierras.
Bianual	PV	ELE	5) Inspección y limpieza de intercambiador de conexión o tap.
Bianual	PV	ELE	6) Limpieza de aisladores pasa tapas.
Bianual	PV	ELE	7) Limpieza a pararrayos
Bianual	PV	ELE	8) Prueba de estanqueidad al tanque conservador
Bianual	PV	ELE	9) Inspección y calibración de instrumentación asociada. (si aplica)

Bianual	PV	ELE	10) Realizar inspección y limpieza ventiladores del transformador.
Bianual	PV	ELE	11) Toma y análisis de muestra de aceite.
Anual	PD	CBM	12) Usando cámara termo gráfica infrarroja; inspeccione y registre termo gramas y fotografías de los diferentes componentes del transformador como: Aisladores Primario / Secundario (Bushings), intercambiador de conexión o Tap, Cables de potencia, Conexiones (conos termo encogibles), radiadores de calor, tanque de aceite, motores de ventilación forzada, tablero de control del transformador, etc. Realizar análisis de las termo gramas en software y advierta los puntos calientes y anomalías de origen térmico. Análisis de la muestra y análisis de tendencia. Realizar reporte y generar las ordenes de trabajo para los correctivos identificados.
INTERRUPTOR DE MEDIA TENSIÓN			
Bianual	PD	CBM	1) Medición de resistencia de aislamiento eléctrico (fase-fase, fase-gnd).
Bianual	PD	CBM	2) Medición de resistencia de contactos principales.
Bianual	PD	CBM	3) Medición de tiempos de cierre y apertura de contactos.
Bianual	PD	CBM	4) Medición de corriente de operación de las bobinas.
Bianual	PD	CBM	5) Medición de Fp del medio aislante del interruptor (cámaras de vacío o SF6).
Bianual	PV	ELE	1) Inspección cualitativa de partes mecánicas (resortes deformados u oxidados, tuercas y tornillos flojos, piezas con desgaste excesivo o quebradas)
Bianual	PV	ELE	2) Limpieza general
Bianual	PV	ELE	3) Lubricación de mecanismos
Bianual	PV	ELE	4) Inspección eléctrica (conexiones sueltas, recalentadas u oxidadas)
Bianual	PV	ELE	5) Revisión y retorqueo de cableado control de la celda
Bianual	PV	ELE	6) Prueba manual mecánica de la operación del interruptor
Bianual	PV	ELE	7) Prueba y maniobra de inserción y extracción del interruptor
Bianual	PV	ELE	8) Limpieza y engrase de contactos eléctricos, cubículo de interruptor.
INTERRUPTOR DE BAJA TENSIÓN			
Bianual	PV	CBM	Medición de resistencia de aislamiento eléctrico (fase-fase, fase-gnd). G42
Bianual	PV	CBM	Medición de resistencia de contactos principales.
Bianual	PV	CBM	Inyecciones de corriente primaria para verificación de tiempos de respuesta de las funciones de protección.
RELÉ			
Bianual	PV	CBM	Inyección secundaria de protecciones eléctricas según ajustes de coordinación de protecciones.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 14, mencionamos los recursos y horas hombre requeridas para la ejecución de los mantenimientos implementados por transformador, interruptores y relés.

Tabla 14. Recursos y HH requeridas para mantenimientos transformadores de potencia

Recurso	N° Transformadores	Total HH
2 Elec.	34	1360
2 CBM	34	1912,5
Total		3272,5

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 15, se registran las PM's que se van a inactivar en SAP correspondientes a la estrategia de mantenimiento de transformadores de potencia.

Tabla 15. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de transformadores de potencia

PM	Descripción	HH	Frecuencia
1116535	PM MANTENIMIEN. PREV. TRANSFORM S/E 69	168	360
1116536	PM MANTENIMIEN. PREV. TRANSFORM S/E 17	112	360
1116537	PM MANTENIMIEN. PREV. TRANSFORM S/E 14	112	360
1116538	PM MANTENIMIEN. PREV. TRANSFORM S/E 10	168	360
1116539	PM MANTENIMIEN. PREV. TRANSFORM S/E 31	112	360
1116540	PM MANTENIMIEN. PREV. TRANSF. SWG PH1	224	360
Total HH		896	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.2 Estrategia de Mantenimiento Línea Aérea 13,8KV. En la Tabla 16, se muestra alcance de la estrategia de mantenimiento de la línea aérea de acuerdo a PMO del año 2017.

Tabla 16. Actividades de mantenimiento para la línea aérea de 13,8KV, según el PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades de Mantenimiento
Anual	PV	1) Inspeccione desviaciones de inclinación de postes y/o estructuras
Anual	PV	2) Cortas maleza o vegetación si se requiere
Anual	PV	3) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione fugas de energía o flameado

Anual	PV	4) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione daños por rayo.
Anual	PV	5) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione suciedad de aisladores.
Anual	PV	6) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione conexiones oxidadas o sulfatadas
Anual	PV	7) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione conexiones de tierra sueltos o sulfatados.
Anual	PV	8) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione evidencias de recalentamiento en conexiones
Anual	PV	9) Verifique que no haya árboles cerca, que tocan o pueden caer sobre los conductores.
Anual	PV	10) Verifique integridad del conductor y cable de guarda
Anual	PV	11) Medición de resistencia de puesta a tierra al punto de aterrizaje con respecto a la malla de puesta tierra.
Anual	PV	12) Retorqueo de conexiones eléctricas del sistema de puesta tierra.
Anual	PV	13) Inspección de condición y reporte de Integridad del sistema
Anual	PD	14) Realizar prueba termográfica a componentes de la línea aérea.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Posterior a la revisión del FMEA se definió:

- Unir las PM (1116308 termografía y 1116496 inspección línea aérea) predictiva y la preventiva para optimizar el recurso un técnico electricista y un técnico CBM.
- Puesto de trabajo responsable CBM con puesto ejecutor electricidad y CBM.
- Realizar un reporte que consolide los hallazgos de la termografía y la inspección eléctrica.

En la Tabla 17 se muestra el alcance, frecuencia y tipo de tarea de la nueva estrategia de mantenimiento según el PMO del año 2019 para la línea aérea de 13,8KV.

Tabla 17. Nueva estrategia de mantenimiento para la línea aérea, según el PMO año 2019

Frecuencia	TIPO	Actividades de Mantenimiento
Anual	PV	1) Inspeccione desviaciones de inclinación de postes y/o estructuras
Anual	PV	2) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione fugas de energía o flameado
Anual	PV	3) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione daños por rayo.
Anual	PV	4) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione suciedad de aisladores.
Anual	PV	5) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione conexiones oxidadas o sulfatadas
Anual	PV	6) Desde el nivel del suelo, usando cámara go pro con pértica o drone inspeccione conexiones de tierra sueltos o sulfatados.
Anual	PV	7) Verifique que no haya árboles cerca, que tocan o pueden caer sobre los conductores.
Anual	PV	8) Verifique integridad del conductor y cable de guarda
Anual	PV	9) Medición de resistencia de puesta a tierra al punto de aterrizaje con respecto a la malla de puesta tierra
Anual	PV	11) Retorqueo de conexiones eléctricas del sistema de puesta tierra.
Anual	PV	12) Inspección de condición y reporte de Integridad del sistema
Anual	PV	13) Verificar estado de retenciones (templetes)
Anual	PD	14) Realizar prueba termográfica a componentes de la línea aérea.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 18, mencionamos los recursos y horas hombre requeridas para la ejecución de los mantenimientos implementados para la línea aérea de 13,8KV.

Tabla 18. Recursos y HH requeridas para mantenimiento de la línea aérea 13,8KV.

Recurso	Horas Hombre
1 Elec.	85
1 CBM	100
Total	185

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 19, se registran las PM's que se van a inactivar en SAP correspondientes a la estrategia de mantenimiento de la línea aérea de 13,8KV.

Tabla 19. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de la línea aérea 13,8KV.

PM	Descripción	HH	Frecuencia
1116496	PM INSPECCIÓN LÍNEA AÉREA CUS SE10-LTT	98	360
1116308	CUS TERMOGRAFÍA LÍNEA LTT-CE	180	360
Total HH		278	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.3 Estrategia de Mantenimiento Motores de Media y Baja Tensión y Cubículos en MCC. En la Tabla 20, se muestra alcance de la estrategia de mantenimiento de los motores de media tensión y los cubículos de los centros de control de motores, de acuerdo a PMO del año 2017.

Tabla 20. Actividades de mantenimiento para motores de media y baja tensión y cubículos en MCC's, según el PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades de Mantenimiento
Anual	PV	1) Mantenimiento Preventivo Reposición de aceite si requiere
Anual	PV	2) Realizar mantenimiento de filtros si se requiere
Anual	PV	2) Realizar limpieza y ajuste de conexiones eléctricas de fuerza y control
Anual	PV	3) Revisar voltaje de entrada en borne de la bobina
Anual	PV	4) Medición de resistencia de puesta a tierra al punto de aterrizaje con respecto a la malla de puesta tierra
Anual	PV	5) Retorqueo de conexiones eléctricas del sistema de puesta tierra.
Anual	PV	6) Realizar medición de fusibles cambiar si se requiere
Anual	PV	7) Inspección de condición y reporte de Integridad del sistema
Anual	PV	8) Inspección, calibración y pruebas de Instrumentación asociada. Tarea operativa
Anual	PV	9) Llenar formato de inspección lista de chequeo.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Esta estrategia se aprobó en las sesiones del PMO ser inactivada, teniendo en cuenta que el alcance es cubierto por la estrategia predictiva y preventiva. A los motores de media y baja tensión se les realiza prueba IP y estándar con equipo MCE, frecuencia 9 meses y toma de vibraciones cada 8 semanas.

Para la medición de puestas a tierra existe una PM con frecuencia anual por áreas de toda la planta las cuales se relacionan en la Tabla 21.

Tabla 21. PM's correspondientes a las mediciones de puestas a tierra CPF-Cusiana

PM	Descripción
1116529	PM MTTO PREV SIS PUEST TIERRA PH2RUT1
1116530	PM MTTO PREV SIST PUESTA TIERRA LTO1_ASP
1116531	PM MTTO PREV SIST PUESTA TIERRA LPG_ASP
1116532	PM MTTO PREV SIST PUESTA TIERRA PH1_ASP
1116533	MTTO PREV SIST MALLA TIER. LLENADERO. ASP
1116534	MTTO PREV SIS PUEST TIERRA PH2RUT2_ASP

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 22, se registran las PM's que se van a inactivar en SAP correspondientes a las tareas de la estrategia de mantenimiento preventivo de motores de media y baja tensión.

Tabla 22. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de motores de media y baja tensión

PM	Descripción	HH	Frecuencia
1116497	PM MTTO MOTORES MEDIA TENSION CUS	40,0	Anual
1116498	PM MTTO MOTORES MEDIA TENSION CUS	36,0	Anual
1116499	PM MTTO MOTORES MEDIA TENSION CUS	24,0	Anual
1116500	PM MTTO MOTOR COOLERS GAS SLUG CATCHER	60,0	Anual
1116501	PM MTTO MOTOR COOLERS RIENJECTION T1	60,0	Anual
1116502	PM MTTO MOTOR COOLERS RIENJECTION T2	27,0	Anual
1116503	PM MTTO MOTOR COOLERS RIENJECTION T3	60,0	Anual
1116504	PM MTTO MOTORES SGP180_ASP	162,0	Anual
1116505	PM MTTO MOTORES AUXILIARES J. BROWN	81,0	Anual
1116508	PM MTTO MOTOR PROCESS GAS COOLER FAN	28,0	Anual
1116509	PM MTTO MOTOR PROCESS GAS COOLER FAN	8,0	Anual
1116512	PM MTTO MOTOR PROCESS GAS COOLER	27,0	Anual
1116514	PM MTTO MOTOR TEAS PH2	27,0	Anual
1116519	PM MTTO MOTORES ELECTRI LPG	69,0	Anual
1116520	PM MTTO MOTORES ELECTRICOS PTFR	21,0	Anual
1116522	PM MTTO MOTORES LLENADE.	9,0	Anual
1116506	PM MTTO AUXILIARES DEMAG	22,0	Anual

1116507	PM MTTO AUXILIARES RUNDOWN	12,0	Anual
1116510	PM MTTO AUXILIARES DEMAG T2	33,0	Anual
1116511	PM MTTO SISTEMA GLICOL TREN 1/2/3	54,0	Anual
1116513	PM MTTO BLOWERS & SEAL OIL NP	42,0	Anual
1116515	PM MTTO AGUAS ACEITOSAS	20,0	Anual
1116517	PM MTTO TEAS PH1 GAS VENTAS	26,0	Anual
1116518	PM MTTO PLANTA AGUA POTABLE	21,0	Anual
1116470	MTTO PREV ELECTRICO P-37004 ^a	2	Anual
1116471	MTTO PREV ELECTRICO P-37004B	2	Anual
1116521	PM MTTO MOTORES POZOS AGUA	15,0	Anual
Total HH		988	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.4 Estrategia de Mantenimiento para Cubículos en Centros de Control de Motores. En la Tabla 23, se muestra alcance de la estrategia de mantenimiento de los cubículos de los centros de control de motores, de acuerdo a PMO del año 2017.

Tabla 23. Actividades de mantenimiento para cubículos en MCC's, según el PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades de Mantenimiento
Bianual	PV	1) Inspección mecánica (resortes deformados u oxidados, tuercas y tornillos flojos, piezas con desgaste excesivo o quebradas, luces piloto.) Realizar reemplazo en caso de ser necesario.
Bianual	PV	2) Limpieza general.
Bianual	PV	3) Lubricación de mecanismos.
Bianual	PV	4) Inspección Eléctrica (conexiones flojas o sueltas, recalentadas, oxidadas, etc.).
Bianual	PV	5) Reajuste conexiones de potencia y control del cubículo.
Bianual	PV	6) Prueba manual mecánica de la operación del Breaker.
Bianual	PV	7) Prueba y Maniobra de inserción y extracción del cubículo.
Bianual	PV	8) Limpieza y verificación del estado del contactor principal y relés auxiliares.
Bianual	PV	9) Prueba Funcional del Breaker con Inyección Primaria.
Bianual	PV	10) Prueba Funcional del relé de sobrecarga "OL" con Inyección Primaria.
Bianual	PV	11) Pruebas funcionales del "Start – Stop".

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Esta estrategia se aprobó en las sesiones del PMO ser inactivada teniendo en cuenta que el alcance es cubierto por la estrategia predictiva.

Tabla 24. Actividades de las PM's a inactivar en SAP en mantenimiento de cubículos en MCC's

PM	Descripción	HH	Frecuencia
1116497	MTTO PREV. INTERRUP. MEDIA Y BAJA TENS	48,0	Anual
1116498	MTTO PREV. INTERRUP. MEDIA Y BAJA TENS	30,0	Anual
1116499	MTTO PREV. INTERRUP. MEDIA Y BAJA TENS	36,0	Anual
1116500	MTTO MCC-MOTOR COOLERS GAS SLUG CATCH	60,0	Bianual
1116501	MTTO MCC-MOTOR COOLER RENJECTION T1	60,0	Bianual
1116502	MTTO MCC-MOTOR COOLERS RIENJECTION T2	27,0	Bianual
1116503	MTTO MCC-MOTOR COOLERS RIENJECTION T3	60,0	Bianual
1116504	MTTO MCC-MOTOR SGP180	162,0	Bianual
1116505	MTTO MCC-MOTOR AUXILIARES J. BROWN	81,0	Bianual
1116506	MTTO MCC-MOTOR AUX. DEMAG	22,0	Bianual
1116507	MTTO MCC-MOTOR AUX. RUNDOWN	12,0	Bianual
1116508	MTTO MCC-MOTOR PROCESS GAS COOLER FAN	28,0	Bianual
1116509	MTTO MCC-MOTOR PROCESS GAS COOLER FAN	8,0	Bianual
1116510	MTTO MCC-MOTOR AUX. DEMAG & RUNDOWN T2	33,0	Bianual
1116511	MTTO MCC-MOTOR SIST GLICOL TREN 1/2/3	54,0	Bianual
1116512	MTTO MCC-MOTOR PROCESS GAS COOLER	27,0	Bianual
1116513	MTTO MCC-MOTOR BLOWERS & SEAL OIL NP	42,0	Bianual
1116514	MTTO MCC-MOTOR TEAS PH2	26,0	Bianual
1116515	MTTO MCC-MOTOR AGUAS ACEITOSAS	20,0	Bianual
1116517	MTTO MCC-MOTOR TEAS PH1 GAS VENTAS	26,0	Bianual
1116518	MTTO MCC-MOTOR PLAN AGUA POTABLE	10,0	Bianual
1116519	MTTO MCC-MOTOR ELECTRI LPG	69,0	Bianual
Total HH		941	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.5 Estrategia de Mantenimiento Banco de Ductos, Bandeja Porta Cables y Bonding. En la Tabla 25, se muestra alcance de la estrategia de mantenimiento de los bancos de ductos, bandejas porta cables y bonding, de acuerdo a PMO del año 2017.

Tabla 25. Actividades de mantenimiento para banco de ductos, bandejas porta cables y bonding, de acuerdo a PMO del año 2017

Banco de ductos		
FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
120	PV	1) Inspección visual de tubería enterrada (banco de ductos)
120	PV	2) Identificar elementos en mal estado.
120	PV	3) Realizar drenaje de los ductos
120	PV	4) Presentar reporte de inspección
Bandeja porta cables		
FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
360	PV	1) Inspección visual de soportería, tapas, ganchos y sistema bonding.
360	PV	2) Identificar elementos en mal estado.
360	PV	3) Normalizar el estado de las bandejas para su óptimo funcionamiento
360	PV	4) Realizar reporte para mantenimiento correctivo, identificación de componentes a cambiar y/o reemplazar.
Bonding		
FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
360	PV	1) Realizar limpieza y reajustar conexión del sistema de bonding and grounding de los equipos relacionados.
360	PV	2) Si aplica, cambiar terminales, arandelas y tornillos oxidados.
360	PV	3) Eliminar siliconas y pinturas en punto de conexión.
360	PV	4) Medición de continuidad del sistema de tierra del equipo.
360	PV	5) Identificación con pintura especial para identificación de inspecciones ya realizadas.
360	PV	6) Realizar reporte para mantenimiento correctivo, identificación de componentes a cambiar y/o reemplazar.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Esta estrategia se aprobó en las sesiones del PMO ser inactivada. Los alcances en su mayoría son inspecciones, se acordó que se deben crear rutinas anuales en las Rondas Operativas Estructuradas “REVO” por áreas y posterior a las recomendaciones, realizar campañas correctivas.

A continuación, se muestra en la Tabla 26 las PM’s a inactivar en SAP correspondientes al mantenimiento de banco de ductos, bandejas porta cables y bonding.

Tabla 26. Actividades de las PM's a inactivar en SAP de mantenimiento para banco de ductos, bandejas porta cables y bonding

PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales
1116581	PM MTTO PREV. SISTEMA BONDING LTO1	70	360	70
1116582	PM MTTO PREV. SISTEMA BONDING GLP	35	360	35
1116583	PM MTTO PREV. SISTEMA BONDING PH1	70	360	70
1116584	PM MTTO PREV. SISTEMA BONDING LLEN.	35	360	35
1116479	PM MTTO PREV. SISTEMA BONDING PH2	70	360	70
1116585	PM MTTO PREV. BANDEJA PORTACABLE LTO1	35	360	35
1116586	PM MTTO PREV. BANDEJA PORTACABLE GLP	35	360	35
1116587	PM MTTO PREV. BANDEJA PORTACABLE PH1	42	360	42
1116588	PM MTTO PREV. BANDEJA PORTACABLE LLEN.	21	360	21
1116480	PM MTTO PREV. BANDEJA PORTACABLE PH2	42	360	42
1116589	PM MTTO PREV. BANCO DE DUCTOS LTO1	40	120	120
1116590	PM MTTO PREV. BANCO DE DUCTOS GLP	210	120	630
1116591	PM MTTO PREV. BANCO DE DUCTOS PH1	40	120	120
1116592	PM MTTO PREV. BANCO DE DUCTOS LLEN.	30	120	90
1116481	PM MTTO PREV. BANCO DE DUCTOS PH2	40	120	120
			Total HH	1535

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.6 Estrategia de Mantenimiento de Aires Acondicionado en Áreas de Proceso. En la Tabla 27 mostramos el alcance de la estrategia mantenimiento de acuerdo a PMO del año 2017.

Tabla 27. Actividades de mantenimiento para aires acondicionados en áreas de proceso, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
120	PV	1. Verificar Estado Correas
120	PV	2) Verificar Estado Poleas
120	PV	3) Mantt. Breaker Atornillable
120	PV	4) Mantt. Transf. De Control
120	PV	5) Mantenimiento Capacitor
120	PV	6) Mantt. Control de Temp.
120	PV	7) Mantenimiento serpentín
120	PV	8) Limpieza de Componentes
120	PV	9) Mantenimiento Contactores
120	PV	10) Mantenimiento Relevos
120	PV	11) Mantt. Tarjetas Electrónicas
120	PV	12) Mantenimiento Blower

120	PV	13) Mantenimiento Chumaceras
120	PV	14) Limpieza de Componentes
120	PV	15) Mantto. Motor Manejadora
120	PV	16) Mantto. Motor Condensadora

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Posterior a la revisión del FMEA se definió:

- Mantener el alcance debido a que el próximo año van a ser reemplazados los aires del proceso. Cuando se realicen los cambios la estrategia debe ser evaluada.
- Modificar la frecuencia de cuatrimestral a semestral por historial de fallas en SAP.

En la Tabla 28 se incluyen las PM's a modificar frecuencia y HH de acuerdo a historial de ejecución en SAP.

Tabla 28. PM's a modificar frecuencia y HH para mantenimiento de aires acondicionados en áreas de proceso

PMO 2017					Promedio HH ejecución SAP. Frecuencia semestral. PMO 2019	
PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales	HH	HH Anuales
1116559	PM MTTTO PREV A.A. TURBOEXPANDER	32	120	96	18	36
1116560	PM MTTTO PREV A.A. CNTND TURB TREN 1-2-3	64	120	192	57	114
1116561	PM MTTTO PREV A.A. SWITCH GEAR FASE I	48	120	144	47	94
1116562	PM MTTTO PREV A.A. CONTROL ROOM	96	120	288	78	156
1116563	PM MTTTO PREV A.A. SUBESTACION 14	96	120	288	65	130
1116564	PM MTTTO PREV A.A. SUBESTACION 17	96	120	288	57	114
1116565	PM MTTTO PREV A.A. SUBESTACION 10	96	120	288	54	108
1116566	PM MTTTO PREV A.A. SUBESTACION 69	48	120	144	40	80

1116567	PM MTTO PREV A.A. SUBESTACION 31	32	120	96	39	78
1116569	PM MTTO PREV A.A. SLUG CATC	8	180	16	6	12
1116570	PM MTTO PREV A.A. EXTRACTOR Y CORT. AIRE	160	180	320	80	160
Total HH				2160	1082	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.7 Estrategia de Mantenimiento Sistema de Puesta a Tierra. En la Tabla 29 mostramos el alcance de la estrategia de mantenimiento del sistema de puesta a tierra, de acuerdo a PMO 2017.

Tabla 29. Actividades de mantenimiento para sistema de puesta a tierra, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
360	PV	1) Drenaje y retiro de arenas, lodos, etc. de cajas de inspección de puesta a tierra (pozos).
360	PV	2) Realizar limpieza (electrodo, cable, conector) y reajustar conexionado del sistema de puesta a tierra.
360	PV	3) Medición (Teluro metro) de la resistencia de la malla a tierra.
360	PV	4) Realizar reporte de condición y medida de resistencia de la malla tierra.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Posterior a la revisión del FMEA se definió:

- Mantener el alcance y la frecuencia.
- Que la actividad sea realizada por un técnico electricista y un técnico CBM para realizar las mediciones de resistencia y su posterior análisis.

En la Tabla 30 se incluyen las PM's a modificar HH de acuerdo a historial de ejecución en SAP y puesto ejecutor.

Tabla 30. PM's a modificar frecuencia, HH y puesto ejecutor para mantenimiento de sistema de puesta a tierra

PMO 2017					Promedio HH ejecución en SAP. PMO 2019	
PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales	HH	HH Anuales
1116529	PM MTTO PREV SIS PUEST TIERRA PH2RUT1	138	360	138	125	125
1116530	PM MTTO PREV SIST PUESTA TIERRA LTO1_ASP	21	360	21	21	21
1116531	PM MTTO PREV SIST PUESTA TIERRA LPG_ASP	57	360	57	57	57
1116532	PM MTTO PREV SIST PUESTA TIERRA PH1_ASP	100	360	100	50	50
1116533	MTTO PREV SIST MALLA TIER. LLENAD. ASP	21	360	21	21	21
1116534	MTTO PREV SIS PUEST TIERRA PH2RUT2_ASP	120	360	120	91	91
Total HH				457	365	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.8 Estrategia de Mantenimiento Puente Grúas. En la Tabla 31 incluimos el alcance de la estrategia de mantenimiento de los puentes grúas, de acuerdo a PMO 2017.

Tabla 31. Actividades de mantenimiento para puente grúas, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
Trimestral	PV	1) Revisión de elementos sometidos a esfuerzo (guaya, gancho, polipasto).
Trimestral	PV	2) Comprobación de los frenos del trolley, polipasto y carro del puente.
Trimestral	PV	3) Comprobación de los finales de carrera de elevación, traslación de carro y traslación de puente.
Trimestral	PV	4) Comprobación Botonera de control.
Trimestral	PV	5) Comprobación parada de emergencia.
Trimestral	PV	6) Verificar el funcionamiento normal del puente grúa.
Anual	PV	1) Revisión de Controles
Anual	PV	2) Revisión de Tableros de potencia y de control y sus respectivos elementos
Anual	PV	3) Revisión de Botonera
Anual	PV	4) Revisión de Control de motores
Anual	PV	5) Revisión de Frenos
Anual	PV	6) Revisión de Limitadores de carrera y carga
Anual	PV	7) Pruebas de Relés térmicos OL.
Anual	PV	8) Comprobar los contactos de los contactores.
Anual	PV	9) Comprobar estado de las cajas de conexión
Anual	PV	10) Revisar estado de los elementos móviles de alimentación eléctrica

Anual	PV	11) Comprobar estado de las conexiones en general.
Anual	PV	12) Revisar empalmes y sujeción de línea a alimentación
Anual	PV	13) Comprobar la frenada simultanea de los grupos motrices (motores).
Anual	PV	14) Comprobar funcionamiento de los motores.
Anual	PV	Pruebas eléctricas de aislamiento de los motores.
Anual	PV	Prueba de resistencia de bobinas.
Anual	PV	15) Accionar todos los límites de carrera de a uno y verificar que produzcan el efecto deseado
Anual	PV	16) Verificar y, de ser necesario ajustar, los tornillos de fijación y de las palancas accionadoras de los límites de carrera.
Anual	PV	17) Verificar y ajustar de ser necesario los topes fijos de accionamiento de los límites de carrera, tanto los que se encuentran fuera de la grúa como los que se encuentran a bordo de la misma
Anual	PV	18) Prueba de resistencia de aislamiento del cableado de potencia.
Anual	PV	19) Controlar que no existan juegos anormales y desgastes en los mecanismos de accionamiento.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Esta estrategia se aprobó en las sesiones del PMO ser inactivada. Se tiene una certificación anual del puente grúas donde se identifican las desviaciones, adicional se tiene estrategia predictiva.

A continuación, se muestra en la Tabla 32 las PM's a inactivar en SAP correspondientes a las tareas trimestrales y anuales preventivas eléctricas.

Tabla 32. PM's a inactivar en SAP correspondientes a las tareas trimestrales y anuales preventivas eléctricas en mantenimientos a puente grúas

PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales
1116524	PM MTTO PREV. PUENTES GRUAS PH1 CUS	56	360	56
1116524	PM INSP TRIMESTRAL PUENTES GRUAS PH1 CUS	6	90	18
1116525	PM MTTO PREV. PUENTEGRUAS REINJ PH2	84	360	84
1116525	PM INSP TRIMESTRAL PUENTE GRUA REINJ PH2	9	90	27
1116526	PM MTTO PREV. PUENTEGRUAS SEP PH2	84	360	84
1116526	PM INSP TRIMESTRAL PUENTES GRUAS SEP PH2	9	90	27
			Total HH	296

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se definió que para los puentes grúas se ejecute una estrategia anual con tareas mecánicas y de CBM con el siguiente alcance relacionado en la Tabla 33.

Tabla 33. Actividades de mantenimiento puente grúas según el PMO del año 2019

FRECUENCIA	TIPO	ALCANCE
Anual	PV	1) Comprobar uniones de vigas (apriete tornillos, control de soldaduras, etc.)
Anual	PV	2) Inspeccionar los carriles de rodadura (alineación, desgaste, fijación a vigas)
Anual	PV	3) Comprobar desgaste de las pestañas de las ruedas.
Anual	PV	4) Comprobar que no existan grietas capilares en las zonas de rodadura de las ruedas.
Anual	PV	5) Verificar niveles de aceite y estado de grasas en los grupos reductores.
Anual	PV	6) Comprobar apriete tornillos y tuercas de fijación de los distintos elementos (motores, reductores, topes, etc.). Estado de soldaduras.
Anual	PV	7) Verificar engrase del cable de elevación.
Anual	PV	8) Comprobar pérdidas de aceite o grasa.
Anual	PV	9) Comprobar estado de las ruedas del carro.
Anual	PV	10) Inspeccionar cable de elevación y sus amarres.
Anual	PV	11) Engrasar dientes, rodamientos y puntos de fricción.
Anual	PV	12) Verificar niveles de aceite o estado de grasas de los reductores de elevación y traslación.
Anual	PV	13) Examinar el desgaste de los elementos de freno.
Anual	PV	14) Comprobar colocación, estado y apriete de grapas del cable.
Anual	PV	15) Comprobar apriete de tornillos y tuercas de fijación de los distintos elementos. Estado de soldaduras.
Anual	PV	16) Observar giro poleas.
Anual	PV	17) Comprobar buen estado del gancho de carga.
Anual	PV	18) Verificar engrase rodamiento axial.
Anual	PV	19) Verificar engrase de poleas.
Anual	PV	20) No deben observarse alambres anidados o retorcidos
Anual	PV	21) No debe observarse óxido en los cables
Anual	PV	22) Verificar la existencia de lubricación en cables
Anual	PV	23) Comprobación de defectos (corrosiones, cocas, desgastes, etc.)
Anual	PV	24) Comprobar el punto de fijación del cable
Anual	PV	25) Verificar que no exista ningún ruido o vibración anormal en los extremos de apoyo
Anual	PV	26) Cable correctamente arrollado sobre los canales
Anual	PV	27) Verificar existencia de lubricación en tambores
Anual	PD	1) Realizar prueba estática con equipo MCE (estándar y de IP)

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Validando los equipos en SAP se identificó que los puentes grúa de los Compresores Boosting y Gas Ácido no tiene estrategia de mantenimiento; se crea estrategia de mantenimiento para estos dos equipos con el alcance propuesto.

6.2.9 Estrategia de Mantenimiento Sistema de Apantallamiento, Protección Contra Descargas Atmosféricas. En la Tabla 34 incluimos el alcance de la estrategia de mantenimiento del sistema de apantallamiento, de acuerdo a PMO 2017.

Tabla 34. Actividades de mantenimiento para el sistema de apantallamiento, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
Anual	PV	1) Realizar limpieza, reajustar conexionado y evaluar estado físico del elemento captación. Elemento de Transporte (cable bajante). Revisar su estado y ubicarlo adecuadamente
Anual	PV	2) Realizar limpieza y retorqueo de terminales de conexión con el elemento captador (pararrayos) y el elemento disipador (malla a tierra). Cambio de los elementos de fijación según estado físico. Elemento de Disipación (malla a tierra)
Anual	PV	3) Realizar limpieza y reajustar conexión con el cable bajante del pararrayos. Cambio de los elementos de fijación según estado físico
Anual	PV	4) Medición de la Resistencia del sistema de pararrayos, desde el elemento captador hasta la malla a tierra. Con el fin de advertir posibles problemas o malos contactos (si existen) en los bajantes. Cambio de los elementos de fijación según estado físico.
Anual	PV	5) Medición (Telurómetro) de la resistencia del terreno de la malla a tierra. Según RETIE, los valores máximos de resistencia de puesta a tierra en sistemas de protección contra rayos son de 10 Ω .

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Esta estrategia se aprobó en las sesiones del PMO ser inactivada; las actividades de mantenimiento se ejecutarán por condición del sistema de apantallamiento evidenciadas en las inspecciones.

A continuación, se muestra en la Tabla 35 las PM's a inactivar en SAP correspondientes a las tareas de mantenimiento del sistema de apantallamiento.

Tabla 35. PM's a inactivar en SAP correspondientes a las tareas de mantenimiento del sistema de apantallamiento

PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales
1116475	MTTO PREV SIST APANTALLAMIENTO PH2_ASP	90,0	Anual	90,0
1116476	MTTO PREV SIST APANTALLAMIENTO GLP_ASP	100,0	Anual	100,0

1116477	MTTO PREV SIST APANTALLAMIENTO PH1 ASP	84,0	Anual	84,0
1116478	MTTO PREV SIST APANTALL. LLENADERO ASP	40,0	Anual	40,0
			Total HH	314

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.10 Estrategia de Mantenimiento Aires Acondicionado tipo Mini Split. En la Tabla 36 incluimos el alcance de la estrategia de mantenimiento de los aires acondicionados tipo mini split, de acuerdo a PMO 2017.

Tabla 36. Actividades de mantenimiento para aires acondicionados mini split, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas
180	PV	1. Verificar Estado Correas
180	PV	2) Verificar Estado Poleas
180	PV	3) Mantt. Breaker Atornillable
180	PV	4) Mantt. Transf. De Control
180	PV	5) Mantenimiento Capacitor
180	PV	6) Mantt. Control de Temp.
180	PV	7) Mantenimiento serpentín
180	PV	8) Limpieza de Componentes
180	PV	9) Mantenimiento Contactores
180	PV	10) Mantenimiento Relevos
180	PV	11) Mantt. Tarjetas Electrónicas
180	PV	12) Mantenimiento Blower
180	PV	13) Mantenimiento Chumaceras
180	PV	14) Limpieza de Componentes
180	PV	15) Mantto. Motor Manejadora

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Posterior a la revisión de los FMEA se definió:

- Modificar la frecuencia de semestral a cada 9 meses, de acuerdo al historial de fallas en SAP.
- Continúa el alcance de las actividades preventivas.

A continuación, en la Tabla 37 se incluyen las PM's para cambio de frecuencia.

Tabla 37. PM's a modificar frecuencia para mantenimiento de aires acondicionados mini split

PMO 2017				SAP. PMO 2019	
PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales	HH Anuales
1116558	PM MTTO PREV A.A. AREA ADMINISTRATIVA	336	180	672	336
1116568	PM MTTO PREV A.A. OF. OPERADORES ECOP.	48	180	96	48
1116969	PM MTTO PREV A.A PRIMER PISO HOTEL CUS	318	180	636	318
1116970	PM MTTO PREV A.A HERAMENTRIA MANTENIMI	42	180	84	42
1116970	PM MTTO PREV A.A OFICI INSTRUMENTACION	18	180	36	18
1116970	PM MTTO PREV A.A OFICINAS MANTENIMIEN	120	180	240	120
1116970	PM MTTO PREV A.A TALLER ELECTRICO	6	180	12	6
1116970	PM MTTO BODEGA MATERIALES	24	180	48	24
1116971	PM MTTO PREV A.A EDIFI ALIAD OPERA ECP	54	180	108	54
1116971	PM MTTO PREV A.A SALA REUNIONES ECP	6	180	12	6
1116971	PM MTTO PREV A.A EDIFICIO OPERA ECP	12	180	24	12
1116971	PM MTTO PREV A.A OFICINAS MTTO ECP	78	180	156	78
1116972	PM MTTO A.A CUARTO COMUNICACIONES	12	180	24	12
1116972	PM MTTO A.A EDIFICIO COMUNICACIONES	24	180	48	24
1116974	PM MTTO A.A PORTERIA PRINCIPAL CPF CUS	6	180	12	6
1116975	PM MTTO A.A OFICINA INTERVENC POZOS	96	180	192	96
1116976	PM MTTO A.A CUARTO DE CONTROL	12	180	24	12
1116977	PM MTTO A.A PROFESI INGENIERIA	12	180	24	12
1116977	PM MTTO A.A SALA JIM HESTER	6	180	12	6
1116978	PM MTTO A.A CONTENEDOR CENTRO MEDICO	6	180	12	6
1116978	PM MTTO A.A CONTENEDOR CONDUCTORES	12	180	24	12
1116978	PM MTTO A.A CONTENEDOR INSUMOS MED	6	180	12	6
1116973	PM MTTO A.A CASINO	18	180	36	18
1116978	PM MTTO A.A CTO CABLEADO	6	180	12	6
1116979	PM MTTO A.A BODEGA AMBIENTAL	18	180	36	18
1116979	PM MTTO A.A DIAGONAL GYM	24	180	48	24
1116979	PM MTTO A.A DIAGONAL ALIADO GYM	30	180	60	30

1116979	PM MTTO A.A EDIF PARADA PLANTA	42	180	84	42	42
1116979	PM MTTO A.A GESTION SOCIAL	12	180	24	12	12
1116979	PM MTTO A.A SALA LACTA MATERNA	6	180	12	6	6
1116980	PM MTTO PREV A.A SEGUND PISO HOTEL CUS	330	180	660	330	330
Total HH				3480	1740	

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.11 Estrategia de Mantenimiento Sistema de Alumbrado. A continuación, en la Tabla 38 se incluye el alcance estrategia de mantenimiento del sistema de alumbrado, de acuerdo a PMO 2017

Tabla 38. Actividades de mantenimiento sistema de alumbrado, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
Semestral	PV	1) Energizar (modo manual) los circuitos de alumbrado a inspeccionar.
Semestral	PV	2) Identificar luminarias en mal estado.
Semestral	PV	3) Normalizar circuito de alumbrado (modo automático).
Semestral	PV	4) Presentar reporte para elaborar el Plan de Reparación.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Posterior a la revisión del FMEA se definió:

- Inactivar las PM semestrales.
- Crear rutinas de inspección en REVO por áreas de la planta. Actividades FMEA son inspecciones y deben ser realizadas por el operador frecuencia semestral.

A continuación, en la Tabla 39 se incluyen las PM's a inactivar en SAP.

Tabla 39. PM's mantenimiento sistema de alumbrado a inactivar en SAP

PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales
1116473	PM MTTO ALUMBRADO EMERG. PH2_ASP	6	Semestral	12
1116575	PM INSPECC. SIST. DE ALUMBRADO PH1	20	Semestral	40

1116579	PM MTTO ALUMBRADO EMERG. PH1	6	Semestral	12
1116573	PM INSPECC. SIST. DE ALUMBRADO LTO1	20	Semestral	40
1116577	PM MTTO ALUMBRADO EMERG. LTO1	6	Semestral	12
1116576	PM INSPECC. SIST. DE ALUMBRADO LLEN.	10	Semestral	20
1116580	PM MTTO ALUMBRADO EMERG. LLEN.	6	Semestral	12
1116574	PM INSPECC. SIST. DE ALUMBRADO GLP	15	Semestral	30
1116578	PM MTTO ALUMBRADO EMERG. GLP	6	Semestral	12
1116472	PM INSPECC. SIST. DE ALUMBRADO PH2	30	Semestral	60
1116474	PM MTTO ALUMBRADO EMERG. GLP	6	Semestral	12
Total HH				262

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.12 Estrategia de Mantenimiento para Sistemas de Alimentación Ininterrumpida “UPS” y Banco de Baterías. De acuerdo al FMEA del año 2017, se definió la siguiente estrategia de mantenimiento para las UPS´s y bancos de baterías:

- PM MTTO PREV MENSUAL UPS Y BAT
- PM MTTO PREV CUATRIMENSUAL UPS Y BAT_ASP
- PM MTTO PREV ANUAL UPS Y BAT_ASP
- PM MTTO PREV BIANUAL UPS Y BAT_ASP

Posterior a la revisión del FMEA, se definió en las sesiones PMO del año 2019:

- Inactivar la posición mensual de las PM ya que son tareas de inspección y deben ser realizadas por el Operador de Generación. Se crea rutina mensual de inspección en REVO.
- Cambiar frecuencia cuatrimestral a semestral con el alcance de la estrategia de mantenimiento anual, por lo que se debe inactivar esta posición (anual).
- El alcance y frecuencia bianual se mantiene.

Tabla 40. Cambio de frecuencia y alcance mantenimiento UPS's y Bancos de Baterías

FRECUENCIA	TIPO	ALCANCE DEFINIDO
Semestral	PV	1) Verificar que no existan sulfataciones en los bornes de interconexión de las baterías, verificar que no existan incrementos de temperatura en las baterías y verificar posibles contactos sueltos.
Semestral	PV	2) Medición de voltaje en serie, voltaje de rizado, corriente de rizado, corriente y voltaje de salida del cargador, temperatura ambiente, temperatura de voltaje y electrolito en las celdas piloto, corriente de carga de flotación de la batería o gravedad específica en las celdas piloto, baterías puestas a tierra sin intención, etc. Plomo-Acido (inundada)
Semestral	PV	3) Las inspecciones mensuales incluyen voltaje de flotación del terminal de la batería, voltaje y corriente de salida del cargador, temperatura ambiente, inspección visual y corriente de flotación CD por cadena. Plomo-Acido (VRLA)
Semestral	PV	4) Tensión de cada celda, gravedad específica del 10% de las celdas de la batería y corriente de carga flotante, temperatura de una muestra representativa del 10% o más de las celdas de la batería. Plomo-Acido (inundada)
Semestral	PV	5) El valor de impedancia de la celda/unidad, temperatura del terminal negativo de cada celda y voltaje de cada celda. Para aplicaciones con una descarga de una hora o menos, se debe medir la resistencia del 10% de las conexiones entre las
Semestral	PV	celdas. Plomo-Acido (VRLA)
Semestral	PV	6) Medición de voltaje de flotación del terminal de la batería, apariencia, voltaje y corriente de salida del cargador, temperatura del electrolito de la celda piloto. Níquel cadmio
Semestral	PV	7) Medición de gravedad específica de todas las celdas de la batería, temperatura de cada celda, resistencia de celda a celda y conexión de terminal en toda la cadena. Plomo-Acido (inundada)
Semestral	PV	8) Medición de resistencia de celda a celda y conexión de terminal de toda la batería y corriente de rizado CA y/o voltaje impuesto en la batería. Plomo-Acido (VRLA)

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se debe inactivar las posiciones mensuales, cuatrimestrales y anuales; así como crear posición semestral de las siguientes PM's mostradas en la Tabla 41.

Tabla 41. PM's mantenimiento de UPS's y Bancos de Baterías a inactivar en SAP

PM	Descripción
1116548	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT S/E 69
1116549	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT S/E 14
1116550	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT S/E 17
1116551	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT S/E 10
1116552	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT LTO2
1116553	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT LLEN
1116554	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS Y BAT CCR

1116555	PM MANTENIMIEN. PREV. UPS BAT RAD ROOM
1116556	PM MANTENIM. PREV. UPS BAT EDF NO IND
1116557	PM MANTENIM. PREV. UPS BAT SWG PH1

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 42 se muestra el análisis HH de la estrategia de mantenimiento anterior y estrategia definida por el PMO del año 2019.

Tabla 42. Análisis HH estrategia de mantenimiento UPS's y bancos de baterías anterior y la definida en el PMO del año 2019

Análisis HH estrategia anterior			
	HH	HH Anuales	HH Bianuales
HH Estrategia mensual	44,0	396	396
HH Estrategia cuatrimestral	176,0	352	352
HH Estrategia anual	220,0	220,0	
HH Estrategia bianual	308,0		308,0
Total HH		968	1056
Análisis HH PMO 2019			
	HH	HH Anuales	HH Bianuales
HH Estrategia semestral	220	440	220
HH Estrategia bianual	308,0		308,0
Total HH		440	528

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.13 Estrategia de Mantenimiento Cargadores y Bancos de Baterías. De acuerdo al FMEA del año 2017, se definió la siguiente estrategia de mantenimiento para los cargadores y bancos de baterías:

- PM MTTO PREV. MENSUAL CARGADOR Y BAT_ASP
- PM MTTO PREV CUATRIMENS CARGADOR Y BAT
- PM MTTO PREV ANUAL CARGADOR Y BAT_ASP
- PM MTTO PREV BIANUAL CARGADOR Y BAT_ASP

Posterior a la revisión del FMEA se definió en las sesiones PMO del año 2019:

- Inactivar la posición mensual de las PM ya que son tareas de inspección y deben ser realizadas por el Operador de generación; se crea rutina mensual de inspección en REVO.
- Cambiar frecuencia cuatrimestral a semestral con el alcance de la estrategia anual, por lo que se debe inactivar la esta posición (anual).
- El alcance y frecuencia bianual se mantiene.

Tabla 43. Cambio de frecuencia y alcance mantenimiento Cargadores y Bancos de Baterías

FRECUENCIA	TIPO	ALCANCE DEFINIDO
Semestral	PV	La estrategia semestral incluye las mediciones operativas en REVO más: la tensión de cada celda, gravedad específica del 10% de las celdas de la batería y corriente de carga flotante, temperatura de una muestra representativa del 10% o más de las celdas de la batería. Plomo-Acido (inundada)
Semestral	PV	2Medicion valor de impedancia de la celda/unidad, temperatura del terminal negativo de cada celda y voltaje de cada celda. Para aplicaciones con una descarga de una hora o menos, se debe medir la resistencia del 10% de las conexiones entre las celdas. Plomo-Acido (VRLA)
Semestral	PV	Medición de voltaje de flotación del terminal de la batería, apariencia, voltaje y corriente de salida del cargador, temperatura del electrolito de la celda piloto. Níquel cadmio
Semestral	PV	Medición de gravedad específica de todas las celdas de la batería, temperatura de cada celda, resistencia de celda a celda y conexión de terminal en toda la cadena. Plomo-Acido (inundada)
Semestral	PV	Medición de resistencia de celda a celda y conexión de terminal de toda la batería y corriente de rizado CA y/o voltaje impuesto en la batería. Plomo-Acido (VRLA)
Semestral	PV	Limpieza y verificación del funcionamiento de los dispositivos auxiliares del Cargador de Baterías: ventiladores, tarjetas electrónicas, luces piloto, pantallas, switch's de control y verificación de posibles alarmas.
Semestral	PV	Verificación de la ventilación adecuada.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se debe inactivar las posiciones mensuales, cuatrimestrales y anuales; así como crear posición semestral de las siguientes PM's relacionadas en la Tabla 44.

Tabla 44. PM's mantenimiento de Cargadores y Bancos de Baterías a inactivar en SAP

PM	Descripción
1116482	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT S/E 69
1116483	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT S/E 14
1116484	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT S/E 17
1116485	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT S/E 10
1116486	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT LTO2
1116487	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT LLEN
1116488	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT CCR

1116489	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT SCARF
1116490	PM MTTO PREV. CARGADOR Y BAT SWG PH1

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 45 mostramos el análisis de las HH de la estrategia de mantenimiento anterior y estrategia definida por el PMO del año 2019 para el mantenimiento de los cargadores y bancos de baterías.

Tabla 45. Análisis HH estrategia de mantenimiento Cargadores y bancos de baterías anterior y la definida en el PMO del año 2019

Análisis HH estrategia anterior			
	HH	HH Anuales	HH Bianuales
HH Estrategia mensual	37,0	333	333
HH Estrategia cuatrimestral	136,0	272	136
HH Estrategia anual	209,0	209,0	
HH Estrategia bianual	271,0		271
Total HH		814	876
Análisis HH PMO año 2019			
	HH	HH Anuales	HH Bianuales
HH Estrategia semestral	209	418	209
HH Estrategia bianual	271		271
Total HH		418	480

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.14 Estrategia de Mantenimiento Generadores de Energía Eléctrica. De acuerdo al FMEA del año 2017 se definió la siguiente estrategia para los generadores de energía eléctrica:

- PM MTTO PREV MENSUAL GENERADOR
- PM MTTO PREV CUATRIMENSUAL GENERADOR
- PM MTTO PREV ANUAL GENERADOR
- PM MTTO PREV BIANUAL GENERADOR

Posterior a la revisión del FMEA se definió en las sesiones PMO del año 2019:

- Inactivar la posición mensual de las PM ya que son tareas de inspección y deben ser realizadas por el operador. Se crea rutina semanal de inspección en REVO.
- Inactivar frecuencia cuatrimestral. Se realizan prueba funcional semanal, pruebas de MCE al generador, vibraciones y toma de muestra aceite al motor.
- Los alcances anuales y bianuales se mantienen.

Se deben inactivar las posiciones mensuales y cuatrimestrales de las siguientes PM's mencionadas en la Tabla 46.

Tabla 46. PM's mantenimiento de Generadores de Energía Eléctrica a inactivar en SAP

PM	Descripción
1116491	MTTO PREV MOTOR-GENERAD G-7104
1116492	MTTO PREV MOTOR-GENERAD G-7108
1116493	MTTO PREV MOTOR-GENERAD G-80005
1116494	MTTO PREV MOTOR-GENERAD G-9101
1116495	MTTO PREV MOTOR-GENERAD G-0001
1116999	MTTO PREV MOTOR-GENERADOR PORTATIL

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 47 mostramos el análisis HH de la estrategia actual y estrategia definida por el PMO 2019 para el mantenimiento de los generadores de energía eléctrica.

Tabla 47. Análisis HH estrategia de mantenimiento generadores anterior y la definida en el PMO del año 2019

Análisis HH estrategia anterior			
	HH	HH Anuales	HH Bianuales
HH Estrategia mensual	7,0	63	63
HH Estrategia cuatrimestral	10,5	21	21
HH Estrategia anual	82,0	82,0	
HH Estrategia bianual	628,0		628
Total HH		166	712
Análisis HH PMO 2019			

	HH	HH Anuales	HH Bianuales
HH Estrategia anual	82	82	
HH Estrategia bianual	628		628
Total HH		82	628

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.15 Estrategia de Mantenimiento Inspección y Certificación de Equipos Eléctricos Portátiles. A continuación, en la Tabla 48 incluimos en alcance de la estrategia de mantenimiento correspondiente a la inspección y certificación de equipos y herramientas eléctricas portátiles, de acuerdo a PMO 2017.

Tabla 48. Actividades de inspección y certificación de equipos eléctricos portátiles, de acuerdo a PMO del año 2017

FRECUENCIA	TIPO	Actividades Preventivas en SAP
Trimestral	PV	Realizar Inspección Visual, pruebas Funcionales, certificación de equipos eléctricos. Diligenciar Formato de pruebas.

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Posterior a la revisión del FMEA se definió:

- Modificar la frecuencia a semestral de acuerdo a historial de ejecución en SAP.

A continuación, en la Tabla 49 se reacciona el cambio de la frecuencia en la PM correspondiente a inspección y certificación de equipos y herramientas eléctricas portátiles.

Tabla 49. Cambio de frecuencia en SAP de la PM de inspección y certificación de equipos y herramientas eléctricas portátiles

PM	Descripción	HH	Frecuencia	HH Anuales
1116572	PM INSP/PM CERTIFICACION EQUIPO PORTA	28	Semestral	56

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.16 Estrategia de Mantenimiento Revisión Estatus y Sistema Eléctrico en Áreas Clasificadas. El alcance de esta estrategia es inspecciones y deben ser realizadas por el Operador de Generación. Se crea rutina de inspección en la herramienta REVO con frecuencia cada 540 días mostrada en la Tabla 50.

Tabla 50. Rutina de inspección equipos eléctricos en áreas clasificadas

FRECUENCIA	TIPO	ACTIVIDADES PREVENTIVAS EN SAP
540 días	PV	1)Revisar estado del equipo eléctrico e instrumentación en áreas clasificadas
540 días	PV	2)Revisar instalación, estructura, soportería y factores adversos al medio ambiente
540 días	PV	3)Evaluar condición de equipos asociados a la ruta de inspección
540 días	PV	4)Verificar integridad de conductores y conexiones de potencia y control
540 días	PV	5)Verificar integridad de conductores y conexiones de puesta tierra
540 días	PV	6)Diligenciando formato y realizar informe con registro fotográfico de inspección visual en áreas clasificadas

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 51 relacionamos las PM's a inactivar correspondientes a inspección a equipos eléctricos en áreas clasificadas.

Tabla 51. PM's inspección de equipos eléctricos en áreas clasificadas a inactivar en SAP

PM	Descripción	Frecuencia	HH
1116615	REV EST EQ Y SIS ELEC ARE CLASI LLEN ASP	540 días	33,8
1116616	PM REV EST EQ Y SIS ELEC AREA CLASIF LPG	540 días	116,7
1116617	PM REV EST EQ Y SIS ELEC AREA CLASI TEA	540 días	26,1
1116618	PM REV EST EQ Y SIS ELEC AREA CLASIF PH2	540 días	44,2
1116619	PM REV EST EQ Y SIS ELEC AREA CLASI LTO1	540 días	178,6
1116620	PM REV EST EQ Y SIS ELEC AREA CLASI LTO2	540 días	0,5
Total HH			366,1

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.2.17 Estrategias de Mantenimiento de Preservación, Sistema de Alarmas, y Sistema Contra Incendios. De acuerdo a la revisión de los FMEA del PMO del año 2017 y la ejecución de históricos en SAP se aprobó mantener los alcances, frecuencias y recursos existentes.

6.3 MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICIÓN

6.3.1 Puesto de trabajo de CBM en SAP. Se revisaron las PM`s activas del equipo de CBM, como resultado se definió:

- Modificar las HH de las actividades de termografía y MCE, se propuso optimizar el tiempo de ejecución realizando análisis durante la ejecución de las pruebas.
- Crear PM para el análisis de las muestras de aceite dieléctrico de los transformadores.
- Incluir en la estrategia de termografía los transformadores secos de la planta y de la línea aérea, así como los tableros de distribución.
- Incluir lista de objetos en PM de termografía.
- Crear la estrategia para las pruebas de los transformadores de potencia, interruptores de media y baja tensión y relé.
- Crear PM de descargas parciales para los generadores de energía eléctrica.
- Modificar la frecuencia de la PM semestrales a anual de termografía de las UPS`s.

6.3.2 Puesto de trabajo de Electricidad en SAP. En la Tabla 52 relacionamos las PM`s a inactivar en SAP, correspondientes al puesto de trabajo de electricidad.

Tabla 52. PM`s de actividades eléctricas predictivas a inactivar en SAP

PM	Descripción	Frecuencia	HH
1115601	PM MTTO TERM.1 CUS INSPEC TERMOG TRAF 13	18 meses	12,0
1115602	PM MTTO TERM.2 CUS INSPEC TERMOG TRAF 48	Bianual	28
1115606	PM MTTO TERM.1 CUS INSPEC TERMOG TRAF 13	18 meses	168
1115607	PM MTTO TERM.2 CUS INSPEC TERMOG TRAF 48	Bianual	72,0
1115770	PM MTTO TERM CUS PANEL CONTROL COMP FASE	Anual	15,0
1116308	PM MTTO CUS TERMOGRAFIA LINEA 13.8 SUB 1	Anual	180
1116315	PM MTTO GX39 TERM PANELES DE CONTROL Y M	Anual	50
1116450	TERM.3 CUS INSPEC TERMOG SWG 13.8/4.1/.4	Bianual	178
1116453	PM MTTO TERM.6 CUS INSPEC TERMOG TABLERO	Anual	51
1116460	PM MTTO TERM CUS INSPEC JUNTAS EXHOSTO T	Anual	64
Total HH			540

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se crearon en SAP 19 PM`s para actividades de termografía a tableros de distribución y transformadores tipo seco por ubicación técnica. A continuación, en la Tabla 53 relacionamos el alcance y resumen de HH anuales.

Tabla 53. PM`s creadas en SAP para termografía en tableros y transformadores tipo seco

Frecuencia	TIPO	Actividades Preventivas
Anual	PD	Realizar inspección termográfica de los componentes eléctricos de control y potencia.
Anual	PD	Toma de parámetros y registro fotográfico.
Anual	PD	Realizar análisis y recomendaciones según hallazgos.

Recurso	Nº Equipos	Total HH
2 CBM	85	84

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se crearon las siguiente PM`s descritas en la Tabla 54 con frecuencia bianual para la inspección termográfica de los transformadores de potencia.

Tabla 54. PM's creadas en SAP para termografía en transformadores de potencia

Frecuencia	Nombre PM	Actividades Preventivas
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORS ALUMBR FASE I	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar inspección termográfica de los componentes eléctricos de control y potencia. - Toma de parámetros y registro fotográfico. - Realizar análisis y recomendaciones según hallazgos.
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORS SWG FASE I	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADOR TR-7118	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADOR U1-TR-80020	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORES SUB 10	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORES SUB 14	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORES SUB 17	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORES SUB 69	
Bianual	TERMOGRAF A TRANSFORMADORES SUB 31	

Recurso	Nº Equipos	Total HH
3 CBM	54	201

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se realizó cambio de la frecuencia y HH a las PM's de termografía a las UPS's, bancos de baterías y cargadores como se muestra en la Tabla 55.

Tabla 55. Cambio de frecuencia y HH en PM's de termografía UPS's, batería y cargadores

PM	Descripción	Frecuencia	HH
1115767	CUS TERM EQ ELEC SUBESTACION 31 LPG [32]	Anual	50
1115814	TERMOGRAFIA TRAFOS, UPS & BATERIAS	Anual	9
1115815	TERMOGRAFIA EQUIPOS ELEC LLENADERO	Anual	22
1116452	TERM.5 CUS INSPEC TERMOG UPS [32]	Anual	160
1116454	TERM.7 CUS INSPEC TERMOG BANCO&CARG BATT	Anual	60
1116459	TERM INSPEC TERMOG MARCHALLY PANEL	Anual	30
Total HH			331

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Se crearon las PM's para el análisis de laboratorio de las muestras de aceite dieléctrico de los transformadores de potencia. A continuación, en la Tabla 56 incluimos las PM's y HH.

Tabla 56. PM`s creadas en SAP para análisis de laboratorio muestras de aceite dieléctrico transformadores de potencia

Frecuencia	Nombre PM	HH
Anual	PM ANALISIS MUESTRA ACEITE TRANSF UTL	2
Anual	PM ANALISIS MUESTRA ACEITE TRANSF. SUB31	2
Anual	PM ANALISIS MUESTRA ACEITE TRANSF FASE 2	2
Anual	PM ANALISIS MUESTRA ACEITE TRANSF. LLEN	2
Anual	PM ANALISS MUESTR ACEIT TRANSF SGWFASE I	2
Anual	PM ANALISIS MUESTRA ACEIT TRANSF TR-1001	1
Total HH		11

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Con respecto a las pruebas de descargas parciales, se realizó la modificación de las HH de acuerdo al historial de ejecución en SAP y para optimizar el tiempo se definió que el análisis de los resultados se debe realizar una vez finalice la toma de datos. Adicionalmente, se crearon las PM`s para realizar pruebas de descargas parciales a los turbos generadores. A continuación, en la Tabla 57 se mencionan las PM`s y HH.

Tabla 57. PM`s creadas en SAP para toma de descargas parciales en generadores

Frecuencia	Nombre PM	HH
Semestral	PM DESCARGAS PARCIALES G-80001	22,5
Semestral	PM DESCARGAS PARCIALES G-80002	22,5
Semestral	PM DESCARGAS PARCIALES G-80003	22,5

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.3.3 Puesto de trabajo de Mecánica en SAP. Se realizó el cambio de frecuencia mensual a bimestral de las siguientes PM`s para toma y análisis de las muestras de aceite relacionadas en la Tabla 58.

Tabla 58. Cambio de frecuencia PM's toma y análisis muestras de aceite por mecánica

PM	Descripción	Frecuencia	HH Anual
1115608	CUS OIL SGP # 5 ANALISIS MUESTR ACEI [4]	Bimestral	30
1115609	CUS OIL SGP # 5 TOMA MUESTR ACEI [4]	Bimestral	12
1119521	CUS OIL DEMAG #5 ANALISIS MUESTR ACEI[4]	Bimestral	18
1119522	CUS OIL WEIR # 5 ANALISIS MUESTR ACEI [4]	Bimestral	30
1119523	CUS OIL REINYE #5 ANALISIS MUESTR ACEI[4]	Bimestral	18
1119524	CUS OIL GENERA #5 ANALISIS MUESTR ACEI[4]	Bimestral	30
1119525	CUS OIL DEMAG #5 TOMA MUESTR ACEI [4]	Bimestral	12
1119526	CUS OIL WEIR #5 TOMA MUESTR ACEI[4]	Bimestral	18
1119527	CUS OIL REINYECCI #5 TOMA MUESTR ACEI[4]	Bimestral	30
1119528	CUS OIL GENERA #5 TOMA MUESTR ACEI[4]	Bimestral	18
Total HH			216

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Tabla 59 mostramos las PM's que se van a inactivar en SAP de: Estructurales, Sistema 1, facilidad GX 39 y la Cotu.

Tabla 59. PM's a inactivar en SAP de Estructurales, Sistema 1, Facilidad GX39 y la Cotu

PM	Descripción	Frecuencia	HH Anual
1116311	PM MTTO OIL TOMA MUESTRAS ACEITE GX39	Mensual	84
1116312	PM MTTO OIL ANALISIS MUESTRAS ACEITE GX39	Mensual	84
1115771	PM MTTO GX39 EST#2 MONIT ANALI HEs - DES	Bianual	22
1115772	PM MTTO GX39 EST#3 MONIT Y ANALI DE SEPA	Bianual	4
1115773	PM MTTO GX39 EST#2 MONIT Y ANALI DE COMP	Bianual	8
1115774	PM MTTO GX39 EST#1 MONIT Y ANALI GENER-C	Bianual	6
1116309	PM MTTO CUS EST#7 MONIT Y ANALI COOLER C	Bianual	46
1116310	PM MTTO CUS EST#10 MONI Y ANALI GEN PH1	Bianual	22
1116313	PM MTTO RECIP GX39 MTTO PREDICTIVO EQUIP	Trimestral	36
1116314	PM MTTO RECIP GX39 MTTO PRED SCE'S RECI	Trimestral	256
1116461	REVISIÓN PARAMETROS SYSTEM 1 REIN [8]	Bimestral	36
1116463	PM MTTO CUS EST#1 MONIT Y ANALI M. RECEP	Bianual	35
1116464	PM MTTO CUS EST#3 MONIT Y ANALIS.CRUDO	Bianual	71
1116465	PM MTTO CUS EST#5 MONIT Y ANALI REINY GA	Bianual	55
1116466	PM MTTO CUS EST#6 MONIT Y ANALI B. INY A	Bianual	33
1116467	PM MTTO CUS EST#15 MONIT Y ANALI FOGGING	Bianual	6
1116468	PM MTTO CUS EST#19 M. Y A. UTIL 1-COTU	Bianual	35

1119630	REVISIÓN PARAMETROS SYSTEM 1 WEIR [8]	Bimestral	12
1119631	REVISIÓN PARAMTROS SYSTEM 1 BOOSTER C 8	Bimestral	6
1119632	REVISIÓN PARAMETROS SYSTEM 1 BOOSTER D 8	Bimestral	6
1119633	REVISIÓN PARAMETROS SYSTEM 1 BOOSTER E 8	Bimestral	6
Total HH Anuales			526

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

6.4 INTEGRIDAD OPERATIVA – RONDAS OPERATIVAS ESTRUCTURADAS “REVO”

Se definieron las siguientes plantillas de inspección en la herramienta de las rondas operativas estructuradas “REVO”:

- En la Tabla 60 se incluyen las inspecciones correspondientes al sistema de alumbrado.

Tabla 60. Inspecciones en REVO sistema de alumbrado

Descripción	HH	Frecuencia	Recurso	HH anuales
Inspección alumbrado área separación	5	Semestral	OP Junior	10
Inspección alumbrado área reinyección	5	Semestral	OP Junior	10
Inspección alumbrado áreas PGV, LPG, inyección agua	5	Semestral	OP Junior	10
Inspección alumbrado área fase 1	4	Semestral	OP Junior	8
Inspección alumbrado áreas deportivas alumbrado perimetral	6	Semestral	OP Junior	12
Inspección alumbrado áreas de generación y sub estaciones	4	Semestral	OP Junior	8
Inspección alumbrado área Llenadero	5	Semestral	OP Junior	10
			Total HH	68

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

- En la Tabla 61 se incluyen las inspecciones correspondientes a los generadores de emergencia.

Tabla 61. Inspecciones en REVO generadores de emergencia

Descripción	HH	Frecuencia	Recurso	HH anuales
Inspección cargador y banco de baterías G-7104	0,5	Semanal	OP Junior	26
Inspección cargador y banco de baterías G-7108	0,5	Semanal	OP Junior	26
Inspección cargador y banco de baterías G-80005	1	Semanal	OP Junior	52
Inspección cargador y banco de baterías G-0001	1	Semanal	OP Junior	52
Inspección cargador y banco de baterías G-9101	1	Semanal	OP Junior	52
Total HH				208

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

- En la Tabla 62 se incluyen las inspecciones correspondientes a los transformadores de potencia.

Tabla 62. Inspecciones en REVO transformadores de potencia

Descripción	HH	Frecuencia	Recurso	HH anuales
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento Sub 10	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento Sub 17	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento Sub 14	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento Sub 69	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento Sub 31	1	Mensual	OP Junior	12
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento SWG-1	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento Llenadero	1	Mensual	OP Junior	12
Total HH				144

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

- En la Tabla 63 se incluyen las inspecciones correspondientes a las UPS's, cargadores de baterías y bancos de baterías.

Tabla 63. Inspecciones en REVO UPS's, Cargadores y Bancos de Baterías

Descripción	HH	Frecuencia	Recurso	HH anuales
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Sub 10	3	Mensual	OP Junior	36
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Sub 17	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Sub 14	3	Mensual	OP Junior	36
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Sub 69	2	Mensual	OP Junior	24

Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Sub 31	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías CCR	2	Mensual	OP Junior	24
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías SWG-1	1	Mensual	OP Junior	12
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Slug C�tcher	1	Mensual	OP Junior	12
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Centro de Computo	1	Mensual	OP Junior	12
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías DCC	1	Mensual	OP Junior	12
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Comunicaciones	1	Mensual	OP Junior	12
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías Llenadero	1	Mensual	OP Junior	12
Total HH				240

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

- En la Tabla 64 se incluyen las inspecciones correspondientes a los bancos de ductos, bandejas porta cables y bonding.

Tabla 64. Inspecciones en REVO bancos de ductos, bandejas porta cables y bonding

Descripción	HH	Frecuencia	Recurso	HH anuales
Inspección banco de ductos, bandeja porta cables y bonding LTO1/LTO2	28	Anual	1 Ele	28
Inspección banco de ductos, bandeja porta cables y bonding GLP	21	Anual	1 Ele	21
Inspección banco de ductos, bandeja porta cables y bonding PH1	14	Anual	1 Ele	14
Inspección banco de ductos, bandeja porta cables y bonding LLEN.	14	Anual	1 Ele	14
Inspección banco de ductos, bandeja porta cables y bonding PH2	35	Anual	1 Ele	35
Total HH				112

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

- En la Tabla 65 se incluyen las inspecciones correspondientes a equipos en áreas clasificadas.

Tabla 65. Inspecciones en REVO equipos en áreas clasificadas

Descripción	HH	Frecuencia	Recurso	HH anuales
Inspección sistema eléctrico área clasificada LPG	21	Anual	1 Ele	21
Inspección sistema eléctrico área clasificada TEA	21	Anual	1 Ele	21
Inspección sistema eléctrico área clasificada PH2	35	Anual	1 Ele	35

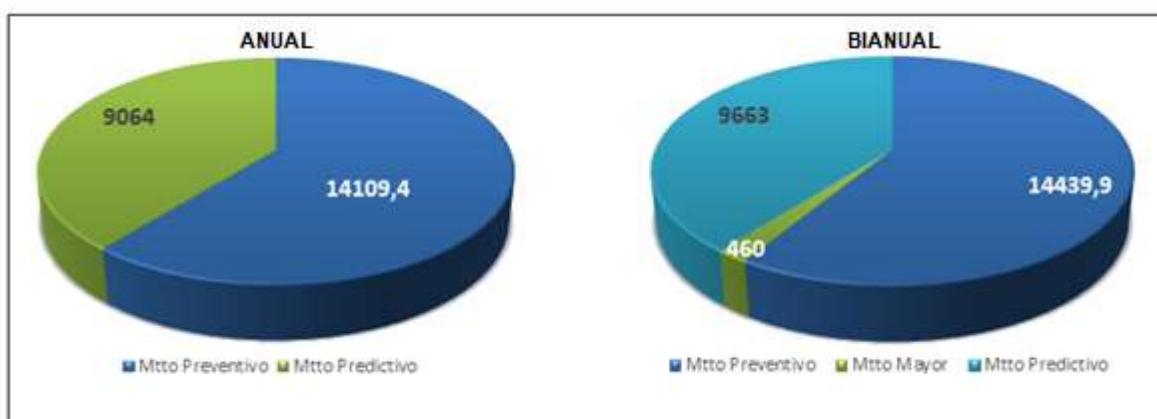
Inspección sistema eléctrico área clasificada LTO1/LTO2	28	Anual	1 Ele	28
Inspección sistema eléctrico área clasificada Llenadero	14	Anual	1 Ele	14
			Total HH	119

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

7 RESULTADOS OBTENIDOS UNA VEZ IMPLEMENTADA EN SAP LA OPTIMIZACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO ELÉCTRICO AÑO 2019

La estrategia de mantenimiento anterior definida en el PMO del año 2017 del área eléctrica contemplaba un total de 23173,4 HH anuales y 24562,9 HH bianuales distribuidas por el tipo de mantenimiento como se muestra a continuación en la Figura 28.

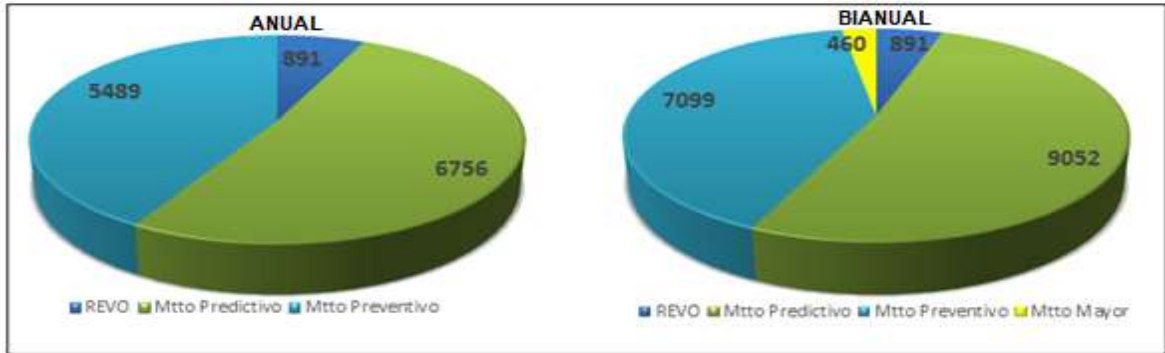
Figura 28. Horas Hombre estrategia de mantenimiento según el PMO del año 2017



Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Realizado el PMO del 2019 y luego de la implementación en SAP, se logró disminuir en un 43% las HH anuales y un 28,75% bianuales de la estrategia actual de mantenimiento del área eléctrica; como resultado final se obtuvo 13136 HH anuales y 17502 HH bianuales. La estrategia de mantenimiento pasa a ser en su mayor parte predictiva y se incluyeron las actividades de inspecciones en REVO, como se muestra a continuación en la Figura 29.

Figura 29. Horas Hombre estrategia de mantenimiento según el PMO del año 2019 implementado en SAP



Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

A continuación, en la Tabla 66 se muestran las estrategias de mantenimiento donde se optimizaron HH anuales y bianuales.

Tabla 66. Optimización HH después de la implementación en SAP del PMO año 2019

Ítem	Mantenimiento Preventivo	HH Anual	HH BIANUAL
Inspecciones en REVO	Inspección UPS y baterías	528	528
	Mantenimiento cargador y baterías	396	396
	Inspección alumbrada	262	262
	Banco de ductos	1080	1080
	Bandeja porta cables	175	175
	Bonding	280	280
	Inspección generadores	84	84
	Inspección áreas clasificadas	399,9	399,9
Cambio de frecuencia	Aires acondicionados	2818	2818
	Certificación equipos portátiles	56	56
	CBM. Toma y análisis muestra de aceite	216	216
Cambio tipo de estrategia	Mantto prev. motores media tensión y MCC	988	990
	Prev. Sistema apantallamiento	314	314
	Línea aérea	98	98
	Inspección sistema protección catódica	49,5	49,5
	Mantenimiento puente grúa	296	296
	Mantenimientos transformadores	896	896
	Mantenimiento turboexpander	24	24
Optimización HH por historial ejecución	Mantenimiento sistema puesta a tierra	92	92
Optimización HH por tipo de ejecución y análisis	CBM. Pruebas IP & estándar con equipo MCE	1197	1197
	CBM. Inspección termografía	577	471

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Durante la ejecución del PMO del año 2019 se crearon las siguientes estrategias de mantenimiento a equipos o técnicas de mantenimiento preventivo que mostramos en la Tabla 67.

Tabla 67. Creación el SAP de nuevas técnicas de mantenimiento preventivo

Mantenimiento Preventivo	HH Anual	HH BIANUAL
CBM. PM análisis de muestra de aceite transformadores	11	11
Termografía e inspección línea aérea 13.8	185	185
CBM. Descargas parciales generadores	135	135
Pruebas eléctricas Sistema protecciones transformadores, interruptores y relé		3272,5
PM TOMA MUESTRA ACEITE TRANSF SGW FASE I	2	2
PM TOMA MUESTRA ACEITE TRANSF TR-1001	1	1
PM MTTO PREV A.A. ARMY CAMP	66	66
PM MTTO PREV A.A. AREA INSP LLENADERO	24	24
PM MTTO PREV A.A. B2	12	12
PM MTTO PREV A.A. CONT JUNTA CANCHA TENIS	48	48
Total HH	484	3756,5

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

Como resultado del PMO del año 2019 se estableció que las inspecciones debían ser cargadas en REVO, a continuación, la relación de las rutinas creadas incluidas en la Tabla 68.

Tabla 68. Inspecciones incluidas en la herramienta REVO

Descripción	Frecuencia	HH anuales
Inspección alumbrada	Semestral	68
Generadores de emergencia	Semanal	208
Inspección de transformadores de media tensión y prueba a ventiladores de enfriamiento	Mensual	144
Inspección de UPS, cargadores de baterías y bancos de baterías	Mensual	240
Inspección banco de ductos, bandeja porta cables y bonding	Anual	112
Inspección sistema eléctrico área clasificada	Anual	119
Total HH		891

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

7.1 CÁLCULO DE RECURSOS Y BALANCE DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

El cálculo del recurso que mostramos en la Tabla 69, se realizó con el promedio de total de la H/H preventivas resultantes del PMO, con un factor de productividad del 75% para el área eléctrica y un 85% para CBM. Adicional se contempló un porcentaje de mantenimiento correctivo del 46% para electricidad y un 5% para CBM de acuerdo a los indicadores actuales de mantenimiento y manejando un turno 5x2.

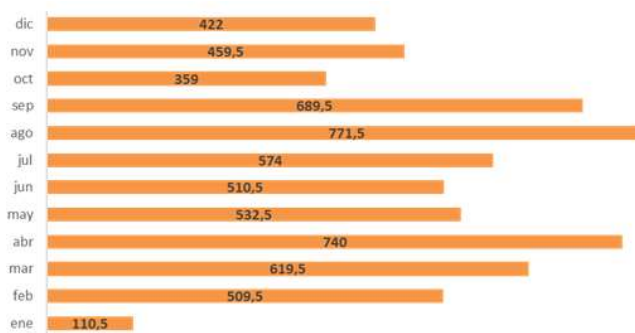
Tabla 69. Cálculo de recursos y balance de estrategia de mantenimiento según el PMO año 2019

Puesto de Trabajo	OPTIMIZACIÓN PROMEDIO HH	PROMEDIO HH PREVENTIVAS ACTUALES	PROMEDIO HH PREVENTIVAS PMO	HH CORRECTIVO	HH TOTAL PREVENTIVO+CORRECTIVO	HH TOTAL Factor productividad	Factor de Productividad (Programación)	% Correctivo promedio	Horas Hombre al Año Turno 5*2	RECURSO TECNICO REQUERIDO	RECURSO TECNICO ACTUAL
CBM	18,4%	9663	7881	415	8296	9760	85,00%	5,00%	2076	5	4
ELE	50,4%	14500	7189	6124	13313	17751	75,00%	46,00%	2076	9	10

Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Figura 30 se muestra la distribución de las HH del año 2020 del área Eléctrica una vez implementado el PMO en SAP.

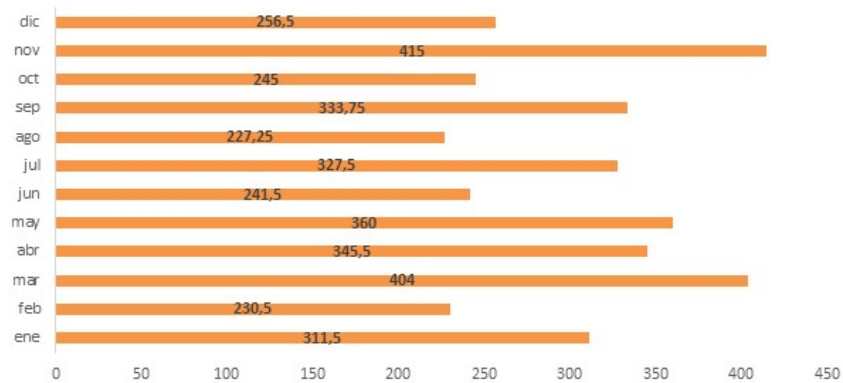
Figura 30. Gráfica de distribución Horas Hombre área Eléctrica año 2020



Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Figura 31 se muestra la distribución de las HH del año 2020 del área de CBM Eléctrica una vez implementado el PMO en SAP.

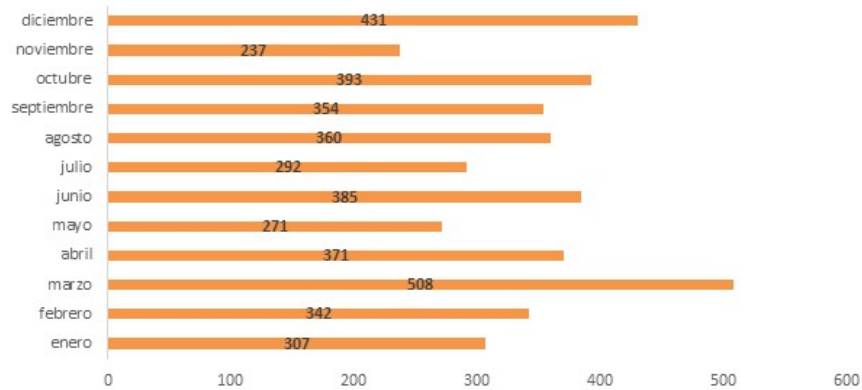
Figura 31. Gráfica de distribución Horas Hombre área CBM Eléctrica año 2020



Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

En la Figura 32 se muestra la distribución de las HH del año 2020 del área de CBM Mecánica una vez implementado el PMO en SAP.

Figura 32. Gráfica de distribución Horas Hombre área CBM Mecánica año 2020



Fuente: Informe final PMO año 2019 Electricidad Campo Cusiana.

8. CONCLUSIONES

Realizado el PMO del año 2019 e implementado en SAP, se logró disminuir en un 43% las HH anuales y un 28,75% bianuales de la estrategia actual de mantenimiento del área eléctrica; como resultado final se obtuvo 13136 HH anuales y 17502 HH bianuales. La estrategia de mantenimiento pasa a ser en su mayor parte predictiva y se incluyeron las actividades de inspecciones en las Rondas Operativas Estructuradas en la herramienta REVO.

Por medio del análisis de los tiempos medios entre fallas (MTBF) del sistema de generación del CPF-Cusiana, se identificaron las fallas recurrentes y se aportó para que los mantenimientos mayores sean ejecutados en las fechas programadas, de acuerdo a las recomendaciones dadas por el fabricante.

Aplicando la metodología del análisis de confiabilidad, malos actores de mantenimiento y pareto; se lograron identificar los equipos y los modos de falla con mayor cantidad de eventos y se generaron acciones para corregir las desviaciones identificadas.

En la evaluación y análisis del plan de mantenimiento se evidenciaron: tareas de inspección duplicadas, se identificaron actividades que pueden ser realizadas por una sola persona, variaciones en la duración de las actividades por tiempos duplicados. Se evaluaron los hallazgos, se redefinieron tareas y los recursos necesarios para el cumplimiento del plan de mantenimiento estructurado en SAP.

BIBLIOGRAFÍA

BORRÁS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Escuela de Ingeniería Mecánica- Universidad Industrial de Santander, 2013. p.8, 11.

BORRÁS PINILLA, Carlos. Mantenimiento Preventivo. Bucaramanga: Escuela de Ingeniería Mecánica- Universidad Industrial de Santander, 2013. p.21, 24.

ECOPETROL, <https://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/Home/es/NuestraEmpresa/QuienesSomos/NuestraHistoria>. [En línea] Consultado el 24-Agos-2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Petroleum, petrochemical and natural gas industries: Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment Second edition, 2006. p. 7. (ISO 14224).

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM2. Traducido y Adaptado por Carlos Mario Pérez J. Aladon, 2004. P.2-3

MOUBRAY, John. Mantenimiento centrado en confiabilidad. México: Aladon, 2004 p. 7 – 18

PLATTS, <https://top250.platts.com/Top250Companies/30> [En línea]. Consultado el 15-Mar-2020.

TURNER, Steve. Análisis Mantenimiento de futuro PMOptimisation PMO2000. Australia, Northwestern University - Kellogg School of Management Universidad Chapman. P.12-15

VALDERRAMA, Pilar. Planned Maintenance Optimisation. OMCS2000 International Latinamerica.