

 Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña - Colombia Virreinato Mineducación	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	30-09-2024	C
	Dependencia	Aprobado	Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		SUBDIRECTOR ACADEMICO	1 (104)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Edwin José Mandón Quintero		
FACULTAD	Ingenierías		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Mecánica		
DIRECTOR	Jhon Arévalo Toscano.		
CODIRECTOR (si aplica)	No aplica		
TÍTULO DE LA TESIS	Apoyo a la implementación del plan de calidad para inspección y ensayos en el mantenimiento de bombas, sistemas eléctricos e instrumentación del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, bajo los lineamientos de la norma ISO 10005		
TITULO EN INGLES	Support for the Implementation of the Quality Plan for Inspection and Testing in the Maintenance of Pumps, Electrical Systems, and Instrumentation of the Potable and Wastewater Treatment System at the Cusiana Field of Ecopetrol S.A, under the Guidelines of ISO 10005		
RESUMEN (70 palabras)			
Este plan de trabajo se desarrolló con el objetivo de apoyar la implementación del plan de calidad para inspección y ensayos en el mantenimiento de bombas, sistemas eléctricos e instrumentación del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana, operado por Ecopetrol S.A. Bajo los lineamientos de la norma ISO 10005 se estructuraron actividades enfocadas en el diagnóstico técnico y en la aplicación de estrategias de mantenimiento.			
RESUMEN EN INGLES			
This work plan was developed with the objective of supporting the implementation of the quality plan for inspection and testing in the maintenance of pumps, electrical systems and instrumentation of the drinking water and wastewater treatment system of the Cusiana Field, operated by Ecopetrol S.A. Under the guidelines of the ISO 10005 standard, activities focused on technical diagnosis and the application of maintenance strategies were structured.			
PALABRAS CLAVES	Mantenimiento, criticidad, confiabilidad, calidad.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Maintenance, Criticality, Reliability, Quality.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 104	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



Vía Acolsure, Sede el Algodonal, Ocaña, Colombia - Código postal: 546552
 Línea gratuita nacional: 01 8000 121 022 - PBX: (+57) (7) 569 00 88
 atencionalciudadano@ufpso.edu.co - www.ufpso.edu.co

**Apoyo a la implementación del plan de calidad para inspección y ensayos en el
mantenimiento de bombas, sistemas eléctricos e instrumentación del sistema de
tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, bajo los
lineamientos de la norma ISO 10005**

Edwin José Mandón Quintero

Facultad de Ingenierías, Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña

Ingeniería Mecánica

Mgtr. Jhon Arévalo Toscano

19 de agosto de 2025

Índice

1. Apoyo a la implementación del plan de calidad para inspección y ensayos en el mantenimiento de bombas, sistemas eléctricos e instrumentación del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, bajo los lineamientos de la norma ISO 10005...	12
1.1 Descripción breve de la empresa	12
1.1.1 Misión	16
1.1.2 Visión.....	16
1.1.3 Objetivos de la empresa.....	16
1.1.4 Descripción de la estructura organizacional	18
1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado	19
1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada.....	21
1.2.1 Planteamiento del problema.....	23
1.3 Objetivos de la pasantía	26
1.3.1 Objetivo general.....	26
1.3.2 Objetivos específicos	26
1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la misma	27
2. Enfoques referenciales	29
2.1 Enfoque conceptual.....	29
2.1.1 Gestión de activos.....	32
2.1.2 Tipos de mantenimiento.....	33
2.1.2.1 Mantenimiento correctivo.....	33
2.1.2.2 Mantenimiento preventivo.....	33
2.1.2.3 Mantenimiento predictivo.....	34

2.1.2.4 Mantenimiento autónomo.	34
2.1.2.5 Mantenimiento Basado en Confiabilidad.....	34
2.1.3 Plan de calidad.....	34
2.2 Enfoque legal	35
2.2.1 Normas de seguridad y salud en el trabajo (SST).....	35
2.2.1.1 Ley 1562 de 2012.....	35
2.2.1.2 Resolución 1111 de 2017.....	36
2.2.2 Normas ambientales.....	36
2.2.2.1 Ley 99 de 1993.....	36
2.2.2.2 Resolución 0689 de 2018.....	36
2.2.3 Normativas eléctricas colombianas	36
2.2.3.1 Resolución 40117 de 2024.....	36
2.2.4 Normativas internacionales.....	37
2.2.4.1 ISO 10005- Directrices para Planes de Calidad.....	37
2.2.4.2 ISO 9001- Sistemas de Gestión de Calidad.	37
2.2.4.3 ISO 55000- Gestión de Activos.	38
2.2.4.4 ISO 45001- Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo.	38
2.2.4.5 ISO 14001- Sistema de Gestión Ambiental	38
3. Informe de cumplimiento de trabajo.....	40
3.1 Presentación de resultados	40
3.1.1 Diagnosticar el cumplimiento de estándares de calidad y las condiciones actuales del sistema de mantenimiento de campo Cusiana	40

3.1.1.1 Identificar los requerimientos técnicos y contractuales establecidos por Ecopetrol S.A.	40
3.1.1.2 Evaluar las capacidades operativas y técnicas de los equipos y el personal involucrado, para cumplir con los requisitos establecidos por el cliente.....	42
3.1.1.3 Determinar los hallazgos de la empresa en relación con la gestión del mantenimiento para identificar riesgos y oportunidades de mejora.	51
3.1.2 Analizar un plan de calidad, inspección y ensayo, cumpliendo con especificaciones técnicas que suministra el cliente, alineado con las normativas aplicables	54
3.1.2.1 Establecer oportunidades de mejora y plan de acción para los procedimientos operativos y protocolos de inspección específicos para mantenimiento.	54
3.1.2.2 Implementar un mecanismo de seguimiento basado en el cumplimiento de plazos establecidos y una evaluación de satisfacción al cliente para medir la efectividad del plan.....	57
3.1.2.3 Establecer un sistema de gestión que garantice el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad, alineados al PDT del proyecto.	61
3.1.3 Verificar la implementación y control del plan de calidad, inspección y ensayo	66
3.1.3.1 Coordinar la ejecución de las actividades de mantenimiento conforme a los lineamientos definidos.	66
3.1.3.2 Monitorear y evaluar el desempeño de las inspecciones y ensayos realizados. ...	68
3.1.3.3 Generar informes de gestión que respalden la toma de decisiones y aseguren la mejora continua.....	75
4. Diagnóstico final	92
5. Conclusiones	95

6. Recomendaciones	96
Referencias.....	99

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz DOFA.....	21
Tabla 2. Descripción de las actividades.....	27
Tabla 3. Tipos de mantenimientos y actividades generales para PTAP y PTAR	41
Tabla 4. Equipos identificados: sistemas de tratamiento agua cruda, potable y residual	43
Tabla 5. Matriz de cumplimiento de perfiles profesionales.....	48
Tabla 6. Matriz de riesgos y oportunidades	52
Tabla 7. Plan de acción de mejora propuesto	57
Tabla 8. Planificación operativa	67

Lista de figuras

Figura 1. Estructura organizacional del grupo empresarial CIAM S.A.S BIC.....	18
Figura 2. Áreas de impacto	46
Figura 3. Matriz de criticidad.....	47
Figura 4. Formato para reporte historia orden y mantenimiento	55
Figura 5. Formato de seguimiento de actividades de mantenimiento.....	58
Figura 6. Formato de satisfacción del cliente	60
Figura 7. Esquema del ciclo PHVA.....	65
Figura 8. Comparativo de ejecución vs programación	69
Figura 9. Resumen progreso del contrato	71
Figura 10. Registro fotográfico del mantenimiento realizado	72
Figura 11. Mantenimientos pendientes en los STA 2025.....	74
Figura 12. Formato para reporte historia orden y mantenimiento. MEJ WP-R 037.....	76
Figura 13. Ruta de monitoreo de vibraciones	79
Figura 14. Ruta de inspección termográfica	80
Figura 15. Análisis de vibraciones equipos rotativos	81
Figura 16. Informe análisis termográfico.....	85
Figura 17. Condición de equipos rotativos	88
Figura 18. Resumen condición termográfica	90

Resumen

Durante la pasantía en CIAM S.A.S BIC, participé activamente en la implementación del plan de calidad, inspección y ensayo para los servicios de mantenimiento mecánico, eléctrico e instrumentación de los sistemas de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana, en cumplimiento con las directrices contractuales de Ecopetrol S.A. y alineado con la norma ISO 10005. El eje central de esta pasantía fue garantizar la calidad técnica de los mantenimientos mediante una planificación rigurosa, la aplicación de protocolos estandarizados y el uso de herramientas de inspección que fortalecieran la trazabilidad y la confiabilidad de los activos. Para ello, se identificaron los requerimientos técnicos del cliente, se analizaron los procedimientos actuales y se propusieron mejoras orientadas a la eficiencia operativa.

Dentro de las actividades desarrolladas se destacan: la elaboración de matrices comparativas de perfiles técnicos, el análisis de criticidad de equipos, la creación de mecanismos de seguimiento operativo, la implementación del ciclo PHVA, la aplicación de tecnologías de mantenimiento predictivo como la termografía infrarroja y el análisis de vibraciones, y la generación de informes técnicos que respaldan la toma de decisiones basada en condición.

Or ~~un~~ ~~ow~~ ~~gr~~ ~~v~~ ~~e~~ ~~v~~ ~~q~~ ~~l~~ ~~g~~ ~~r~~ ~~v~~ ~~h~~ ~~y~~ ~~l~~ ~~g~~ ~~h~~ ~~q~~ ~~f~~ ~~l~~ ~~d~~ ~~r~~ ~~q~~ ~~#~~ ~~x~~ ~~q~~ ~~#~~ ~~x~~ ~~p~~ ~~s~~ ~~d~~ ~~p~~ ~~l~~ ~~h~~ ~~q~~ ~~w~~ ~~#~~ ~~x~~ ~~s~~ ~~h~~ ~~u~~ ~~r~~ ~~u~~ ~~d~~ ~~#~~ 3 (~~g~~ ~~h~~ ~~o~~ ~~s~~ ~~a~~ ~~d~~ ~~g~~ ~~h~~ ~~#~~ trabajo establecido, un fortalecimiento de la cultura de mantenimiento y un aporte significativo a los procesos de gestión de activos dentro del sistema de tratamiento. Así mismo, se logró articular los estándares de calidad y seguridad exigidos por Ecopetrol con los procedimientos internos de CIAM, generando valor agregado para ambas partes. Esta experiencia reafirma la

importancia de integrar los principios de la ingeniería de mantenimiento con las exigencias del sector hidrocarburos, mediante un enfoque preventivo, estructurado y orientado a resultados medibles.

Introducción

La eficiencia en las operaciones, la continuidad de todo y el cumplimiento de las normas de calidad y seguridad en el mundo de los hidrocarburos, dependen bastante de un manejo bien pensado del mantenimiento industrial, por esto, los sistemas que tratan el agua potable y la que ya se usó son una pieza muy importante, ya que aseguran que todo funcione bien y de forma sostenible en las instalaciones. A causa de su importancia, estos sistemas se tienen que revisar con planes de mantenimiento muy serios, que sigan criterios técnicos, normativas aplicables, y también lo solicitado por el cliente del contrato, que para esta situación es Ecopetrol S.A.

En relación con la pasantía que se hizo en CIAM S.A.S BIC, se tuvo como meta principal ayudar a la puesta en marcha el Plan de Calidad para las inspecciones y pruebas en el mantenimiento de las bombas, los sistemas eléctricos y los instrumentos de los sistemas PTAR y PTAP del Campo Cusiana, este campo es de la Vicepresidencia de Desarrollo y Producción Piedemonte de Ecopetrol S.A. De ahí que esta meta se guio por lo que dice la norma ISO 10005, a fin de asegurar el seguimiento, la confiabilidad en la operación y que se cumpliera con la parte técnica de los equipos que se revisaron.

Por consiguiente, durante todo esto se realizaron actividades importantes, como por ejemplo, identificar los requisitos técnicos y del contrato, estudiar qué tan críticos eran los equipos, y también se usó mantenimiento predictivo para adelantarse a las fallas, esto se hizo con análisis de vibraciones y de termografía, como también se crearon los formatos, los reportes técnicos y las maneras de hacer seguimiento a los mantenimientos que corrigen y previenen

problemas, de tal manera que se pudo ver si el plan de calidad se estaba aplicando de la mejor forma. En cuanto a los procedimientos de trabajo que se tomó, esta se basó en las ideas propias de la ingeniería de mantenimiento, de modo que se le dio más importancia a una gestión que busca adelantarse a los problemas, la cual se hizo con un apoyo técnico bien documentado y con el personal de campo participando mucho, por ello la experiencia no solo dejó claro que se cumplieron las tareas, puesto que también mostró que hay una necesidad de hacer más fuertes los protocolos para inspeccionar, las rutas para vigilar los equipos y la comunicación con el personal, con el fin de mejorar todo el tiempo.

Este documento agrupa de manera estructurada cada una de las acciones ejecutadas, los desafíos enfrentados, los resultados obtenidos y las oportunidades de mejora detectadas, evidenciando la importancia de contar con un sistema de mantenimiento alineado a los estándares de Ecopetrol y sostenido sobre principios de calidad, seguridad, trazabilidad y desempeño operativo.

1. Apoyo a la implementación del plan de calidad para inspección y ensayos en el mantenimiento de bombas, sistemas eléctricos e instrumentación del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, bajo los lineamientos de la norma ISO 10005

1.1 Descripción breve de la empresa

Domiciliada en Tauramena Casanare, Construcciones, Ingeniería, Asesoría y Mantenimiento (CIAM) se gesta hacia finales del año 2002, como empresa de Sociedad Limitada encaminada a la prestación de servicios relacionados con la ingeniería civil y el mantenimiento de instalaciones, bajo la unión de cuatro microempresas que ya contaban con experiencia en estas aéreas, con el fin de solidificar una gran microempresa capaz de incursionar en los mercados locales tanto públicos como el sector petrolero el cual desde mediados de la década del 90 llevaba ofreciendo servicios a otras empresas en su mayoría de otras regiones del país (CIAM S.A.S., s.f.).

Bajo el liderazgo de su impulsador principal y dueño de unas las empresas socias el señor Leonardo Rodríguez registra a CIAM Ltda. el 21 de Julio de 2003 en la cámara de comercio de Villavicencio.

Es hacia octubre de este mismo año 2003 cuando a CIAM Ltda. le llegan sus primeras oportunidades de trabajo con el sector privado y específicamente con el sector petrolero aun en auge en el Municipio, inicia prestando servicios de obras civiles y mantenimiento en algunas

instalaciones de la compañía British Petroleum Company Ltd. (BP) y es BP quien a mediados del año 2004 solicita que CIAM Ltda. se solidifique aún más asociando y beneficiando a otras empresas del municipio y así poder aumentar el alcance de los trabajos desarrollados hasta ese momento; bajo esta inquietud y visionando desde entonces a CIAM como una empresa fuerte, son asociados cuatro (4) nuevos microempresarios los cuales al igual que los anteriores también contaban con experiencia para desarrollar diferentes trabajos relacionados con la obra civil.

A la fecha la gerencia de la empresa ha tenido tres gerentes el ultimo y actual Carlos Andrés Rodríguez la ha representado durante los últimos cinco años llevando a CIAM a otros estándares de crecimiento y manteniendo como su principal cliente BP. Es así como la gerencia invita a sus asociados a reinvertir casi todas sus utilidades de los años venideros en activos fijos y otros elementos que permitan una respuesta más pronta, ágil y segura ante los nuevos retos que impone el cliente, el cual, a pesar de evolucionar a pasos agigantados, CIAM Ltda. demuestra estar en capacidad de evolucionar y afrontar estos retos para permanecer en el mercado.

Desde ese momento CIAM Ltda. no ha parado de crecer, su fuerte a lo largo de todos estos años ha sido mantener una excelente prestación de servicios con su cliente principal y j h w u # E S # f r q # h o f x d o w ha logrado que desde el año 2007 desarrolle obras de mayor envergadura que las ya desarrolladas de Obras civiles menores y mantenimiento locativo. Durante estos años de desarrollo y desde comienzos del año 2006, CIAM Ltda., inicia un nuevo proceso hacia la consolidación de una empresa que busca crecer en el mediano plazo y no ser una de las tantas empresas que únicamente se crearon por el momento y luego desaparecen. (CIAM S.A.S., s.f.).

Ha fortalecido la presencia de la empresa en su contenido social con las comunidades de su entorno de trabajo participando integralmente en el desarrollo de las mismas patrocinando eventos que redunden en beneficio de toda la comunidad y para solidificar aún más este compromiso, la gerencia la incluye dentro de sus políticas para de esta forma ser más objetivos en su apoyo a estas comunidades brindando toda la participación de la mano de obra no calificada y continuando con el compromiso social empresarial.

CIAM Ltda., no solamente le ha prestado servicios al sector privado, también ha desarrollado actividades con el sector público en otros municipios del departamento con la construcción de instalaciones educativas, a pesar de que este sector es un poco más difícil no por la capacidad de la empresa sino por su contenido político, la empresa espera consolidarlo a partir del segundo semestre del año 2010.

Al igual que la meta anterior de incursionar el sector público la empresa será certificada por el ICONTEC bajo la Norma Técnica de Calidad ISO: 9001:2008, lo cual le permitirá ser aún más confiable a los ojos de su cliente principal BP y los nuevos clientes futuros; se plantean nuevos retos a corto plazo, como la adquisición de maquinaria pesada y la certificación bajo la norma internacional OHSAS 18001 y luego montar un sistema de gestión integral que asocie nuevas estas dos normas: Calidad, Seguridad y Salud ocupacional (CIAM S.A.S., s.f.).

La gerencia invita a sus asociados a reinvertir casi todas sus utilidades de los años venideros en activos fijos y otros elementos que permitan una respuesta más pronta, ágil y segura ante los nuevos retos que impone el cliente, el cual, a pesar de evolucionar a pasos agigantados,

CIAM Ltda. demuestra estar en capacidad de evolucionar y afrontar estos retos para permanecer en el mercado.

Hoy reconocida regional y nacionalmente, encaminada a triunfar de la mano de un equipo de trabajo calificado y gran compromiso empresarial, demuestra que las metas se pueden lograr y ser un ejemplo de la región. Actualmente CIAM SAS, se direcciona a los retos del futuro con gran expectativa y con la responsabilidad de dejar un legado para las generaciones venideras (CIAM S.A.S., s.f.).

CIAM desde el año 2023, adiciono a su nombre la palabra BIC, convirtiéndose en CIAM S.A.S BIC. Siendo una empresa con tripe compromiso en valor económico, social y ambiental, CIAM SAS BIC es una sociedad comercial de Beneficio e Interés Colectivo. Asumió el compromiso en cinco dimensiones (modelo de negocio, gobierno corporativo, prácticas laborales, prácticas ambientales y practicas con la comunidad).

En la actualidad CIAM SAS BIC, es una empresa dedicada a prestar servicios metalmecánicos, eléctricos, instrumentación, control y automatización, pavimentos rígidos y flexibles, mantenimiento y construcción de vías y plataformas, suministrando personal idóneo en labores de mantenimiento de pozos y plantas y operaciones de las mismas.

Amor por el trabajo y sentido de pertenencia, son los pilares que han hecho crecer a CIAM durante los últimos años, cimentada primordialmente en un equipo humano capacitado y comprometido con el desarrollo de la empresa (CIAM S.A.S., s.f.).

1.1.1 Misión

Prestar servicios de ingeniería, construcción y mantenimiento de infraestructura, vías y áreas de producción de hidrocarburos, con altos estándares de calidad, seguridad y salud en el trabajo y responsabilidad social empresarial, enmarcados en el desarrollo sostenible a todo tipo de organizaciones nacionales (CIAM S.A.S., s.f.).

1.1.2 Visión

CIAM S.A.S BIC para el año 2025 será reconocida como empresa integralmente responsable y líder a nivel regional en la prestación de servicios de ingeniería, construcción y mantenimiento de infraestructura, vías y áreas de producción de hidrocarburos, fortaleciendo las competencias de nuestro equipo humano, atendiendo las necesidades de construcción de nuestros clientes, con calidad y tecnología (CIAM S.A.S., s.f.).

1.1.3 Objetivos de la empresa

Garantizar la satisfacción del cliente con servicios que cumplen las especificaciones técnicas de los proyectos realizados y la disponibilidad de equipo e infraestructura.

Asignar un equipo humano competente, comprometido y proveedores calificados.

Consolidar nuestra imagen corporativa ante nuestros clientes y asociados, mediante la contribución activa y voluntaria con participación a la comunidad.

Incrementar la rentabilidad de la organización implementando nuevas estrategias en el mercado.

Cumplir los requisitos legales nacionales y otros suscritos por la organización en la gestión del servicio.

Prevenir enfermedades profesionales - Prevenir incidentes o accidentes.

Fomentar la participación de los trabajadores en el Sistema de Gestión.

Proteger el medio ambiente, incluida la prevención de la contaminación e impactos socio-ambientales negativos.

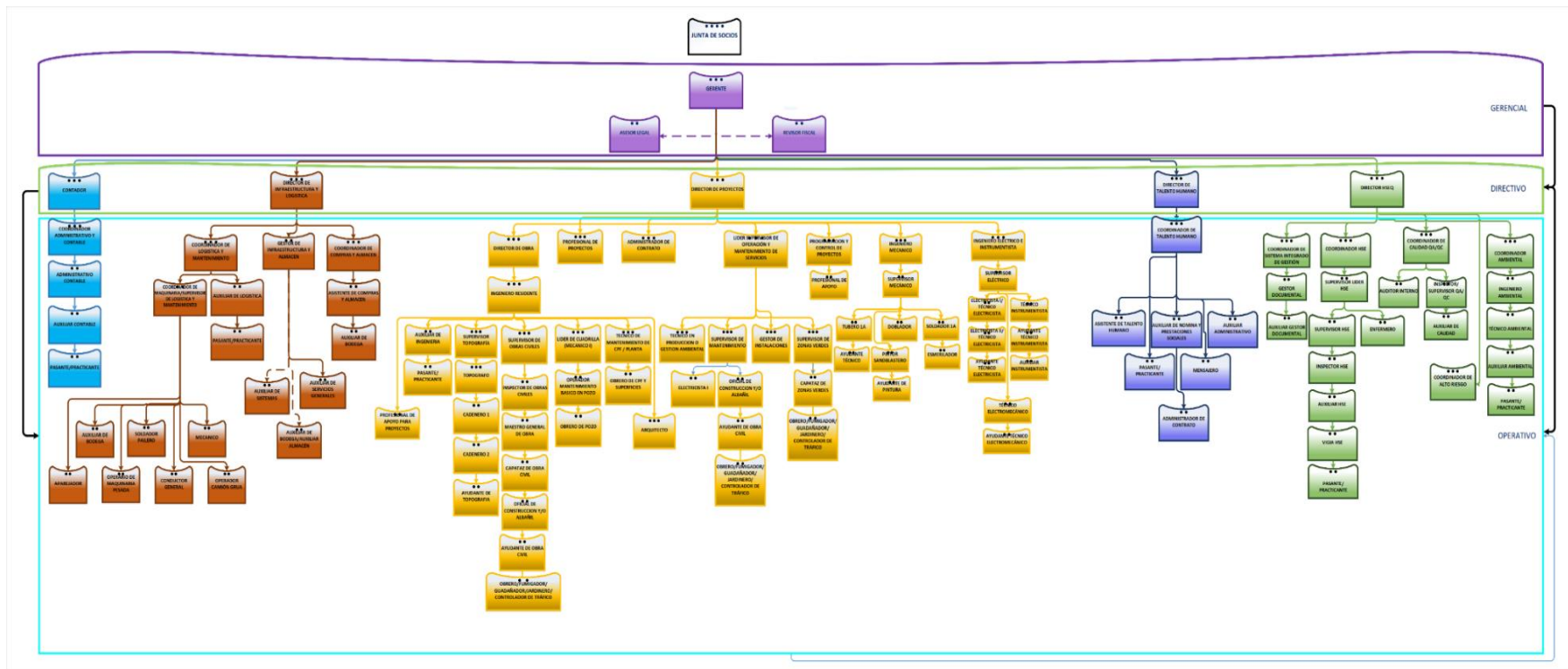
Mitigar los impactos ambientales negativos significativos con el uso eficiente y ahorro de agua y energía, así como la adecuada disposición de los residuos.

Mejorar continuamente el sistema de gestión con la utilización de tecnologías que permitan optimizar el control de la información.

1.1.4 Descripción de la estructura organizacional

Figura 1

Estructura organizacional del grupo empresarial CIAM S.A.S BIC



Nota. Este grafico corresponde a la estructura organizacional de CIAM S.A.S BIC. Tomado de CIAM S.A.S BIC.

1.1.5 Descripción de la dependencia y/o proyecto al que fue asignado

La dependencia de Gestión de Proyectos en el área de metalmecánica de CIAM S.A.S BIC tiene como objetivo principal planificar, desarrollar y controlar la ejecución de proyectos cumpliendo con los más altos estándares de calidad, seguridad, medio ambiente y responsabilidad social empresarial (HSEQ y RSE). Su labor clave es garantizar el cumplimiento de los requisitos contractuales, optimizar los procesos y aumentar la satisfacción del cliente mediante una gestión estructurada basada en el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar).

En cuanto a la etapa de planificación, se miran los riesgos y las oportunidades con unas matrices que manejan el gerente y el director de proyectos, también se arman los planes de calidad, de inspección y de ensayo, como también los cronogramas de la obra y las condiciones de trabajo seguras junto con el equipo HSEQ y los supervisores. De acuerdo con lo señalado, las propuestas que se hacen al principio se acomodan según lo que pida el cliente, y ya después se hacen oficiales con actas de constitución y reuniones con la gente interesada, por ello se hacen los presupuestos con todo detalle, basándose en visitas técnicas y en las especificaciones que da el cliente, para que la comunicación sea clara con el personal que se va a encargar de hacer el trabajo y de controlarlo.

Durante la ejecución de los proyectos, el área se encarga de que estén listos los equipos, los materiales y el personal que se necesita, ya que se siguen los planes que se hicieron para poder cumplir con los cronogramas y las condiciones controladas en lo económico, la calidad, la

seguridad y el medio ambiente, por lo cual se hacen cosas para bajar los riesgos y para aprovechar las oportunidades, se siguen los procedimientos de operación, se hacen ensayos y se toman muestras, y las actividades se ejecutan como dicen las especificaciones técnicas, de ahí que al terminar, se entregan los manuales de uso, los planos al día y los formatos que el cliente haya pedido. Por otro lado, en la etapa de supervisión y seguimiento, se revisa si lo que se hizo sirvió, estando pendiente de la calibración de los equipos, generando informes de gestión cada mes y viendo qué tan contento está el cliente por medio de encuestas, de modo que esto sirve para saber en qué se puede mejorar y para hacer las cosas mejor, con el fin de evitar efectos que no se quieren y para que el proceso rinda más, en ese sentido, se atienden las consultas, las modificaciones, las quejas y los reclamos del cliente, usando procedimientos claros que aseguran una solución efectiva y que hacen más fuerte el Sistema Integrado de Gestión (S.I.G).

A la luz de lo anterior, el pasante de ingeniería mecánica es una pieza importante en esta área, puesto que su principal responsabilidad es apoyar y armar un plan de calidad para la inspección y los ensayos en el mantenimiento de las bombas, los sistemas eléctricos y la instrumentación del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, siguiendo para esto lo que dice la norma ISO 10005. Es por eso que este proyecto busca asegurar que se cumpla con los requisitos de calidad que puso Ecopetrol S.A, mejorando así los procesos de mantenimiento y cuidando la sostenibilidad ambiental y la seguridad en la operación, a fin de lograrlo, el pasante se hace responsable de planificar el proyecto.

Por ello elabora matrices de riesgos, desarrolla planes de calidad y cronogramas con el equipo HSEQ, e implementa procedimientos operativos que tienen ensayos y revisiones para ver

si todo está conforme con los estándares técnicos. Mientras se ejecuta el trabajo, se coordina la toma de muestras y que se cumplan los cronogramas establecidos, y finalmente, el pasante participa en la revisión y la mejora continua, vigilando la calibración de los equipos, haciendo informes de gestión y proponiendo mejoras a partir de los resultados que se obtienen, siempre con la meta de cumplir con lo que espera Ecopetrol en calidad y de hacer más fuerte la posición de CIAM S.A.S BIC como un líder en el sector de hidrocarburos.

1.2 Diagnóstico inicial de la dependencia asignada

Tabla 1

Matriz DOFA

Matriz DOFA del área de Metalmecánica de CIAM S.A.S BIC	
Debilidades (D)	Oportunidades(O)
G4#Qr#M#hp s dhdq#khudp lhqvd#hfqro jlfdv# sdu#d#h hww q#frqwr# #hmfxf l q#hilflhqw#gh# s ur hf w v#Hwv#dp l w#d#f ds dflgdg#gh# p rqlwuhdu#r v# ur fhv r v#s vlp l du#r v#hfxuv# v# # jduqdw du#kq#hjxlp lhqw#dghfxdgr#gh#r v# furqr judp dv# # uhvxs xhww vl G5#Qr#M#fxhqw#frq#kq# ur fhv#r up d#gh# uhv#ddp hqwf l q#xh#s hup lw#gr f xp hqvd#d#v# id#d#v# #p hnu dv#lghqwilfdgdv#hqr#r v# ur hf w v#Hwv#d#h qf l d#glilfxo#d#p s dhp hqwf l q#gh# hwwd#hjldv#gh#lqqr ydf l q# #p hnu d#frqvxd#h q# r v# ur fhv r v#frqww#f v yr# #s hudv yr vl G6#Qr#M#s ulul d#d#dgt xlvfl q#hwwdw j lfd#gh# ht xls r v#ghvldgr v#h f#xvlydp hqvd#d#frqvdr v# hvs hf ilfr v#r# #xh#s xhgh#p s dfvduh q#d# f ds dflgdg#gh#f xp s du#fr q#r v#hwwqgdhv# # furqr judp dv#hwwd#dflgr vl	R4#Od#frqwdqvw#r up dfl q#h q#wvqlfdv# frqww#f v ydv#lqqr ydgr udv# #h#xv#gh#qxhyr v# p dvhuldchv#r uwlchf hq#d#f r p s hwl ylgdg# # p hnu d q#d#f ddgdg#gh#r v# ur hf w v# uhdd dgr v#s hup lw#h qgr#F IDP #ghwdf duh# hq#h#p huf dgr l R5#Od#glvs r qleldgdg#gh#khudp lhqvd# gljlvchv#dydq dgdv#s hup lw#s vlp l du#d# j hwl q#gh#s ur hf w v#p hnu d qgr#d# s dqlilfdl q#h#frqwr# #h#h qglp lhqw#h q# d v#eudv#p hwlq hf qlfdvl R6#Od#f ds dflgdg#gh#f xp s du#fr q#dow v# hwwqgdhv#gh#ddgdg#h q#h#p s r v#hgxflgr v# j hqhud#frqildq d#h q#r v#f dhqv#v#de ulh qgr# s xhu dv#d#qxhyd v#s r u xqlgdghv#h q#glihuhqv#v# uhjlr qhv# #hf w uhvl R7#P dqv#qhute xhqdv#h adflr qhv#fr q#dv# frp xqlgdghv# #j dduqdw du#h#f xp s dp lhqw# gh#r up d v ydv#dp elhqvchv#r uwlchf h#d# dfls vdf l q#r fld#gh#d#h p s uhvd#dvhj xudqgr# h# lw#gh#r v# ur hf w v#h q#dv# uhd#gh# lqioxhqlfdl

Fortalezas (F)	Amenazas (A)
I 4#Od#hp s uhvdf xhqw#fr q#p dt xlqdu# #ht xls r v# fhuilf dgr v#hvhqfldh#s dud#lvhj xudu#df ddgdg# # α#hj xulgdg#hq#r v# ur fhv#p hwdp hf qlfr v# Hwr v#uhfxuv#s hup lvq#hmf xw#du#df wylgdghv# gh#p dqvqlp lhqw#fr q#s uhflvl q#fxp s dhqgr#r v# uht xhulp lhqw v#wfqlfr v# #qrup dlyr vl I 5#F IDP #MDIVEIF #glvs r qh#gh#s hvr qd# dwdp hq#f ds dflwgr# #fr p s ur p hvg#fr q#d# h fhdqfld#s hvdlyd#dv#fr p r#s ur ylhgr uhv# fddilf dgr v#t xh#j dudq#v dq#h#xp lqlwv#gh# p d#ulddh# #huylflr v#fr qir up h#d#r v#hwwqgduh# gh#f ddgdg#Hwr#lvhj xud#d#hmf xfl q#hihf vlyd#gh# α v#s ur hf w# #h#fxp s dp lhqw#gh#r v#uht xlvw v# gh#f dhqvl I 6#H#k v#r #gh#mf q#r α j d#lydq dgdv#h#h# und#gh# p hwdp hf qlf d#h#k#s lodu#hwdwjlfr#s dud# p hnu#s ur fhv#v#qf up hq#v#d#hilflhqfld# # rs vlp l du#r v#uhxodgr v#h#f dgd#s ur hf w#Hwr# lqfox h#d#lqfrus rufdl q#gh#khu#p lhq#v#t xh# s hup lvq#fxp s duffr q#qrup dlydvl I 7#M#s ulr ul dq#s u f#f dv#gh#p dqvqlp lhqw#t xh# rs vlp l dq#h#h#qglp lhqw#gh#r v#ht xls r v# p lqlp l dgr#d#h#p lvr qh#gh#j dvh# frq#p lqdq#v#Hwr#qr#r α#fr q#wlex h#d# fxlqgr#gh#p hgr#p elhqv#Mqr#t xh#p el q# fxp s dh#fr q#r v#uht xlvw v#gh#r v#h#qleldgdg# hwd#dflgr v#s r u#h#f dhqvl I 8#Od#glvs r vfl q#lqdg#gh#h#vlgxr v#v dgr v#h# udd d#d#vdy v#gh#s ur ylhgr uhv#dxwul dgr v# j dudq#v dqgr#qd#j h#v# q#p elhqw#p hqv# uhs r qvde d#Dghp v#h#r p hq#v#h#xv#h#ilflhqv# gh#ljd# #h#huj d#ddqh qgr v#fr q#d#s rowf dv# gh#r v#h#qleldgdg#p elhqv#d#gh#F IDP #MDIVEIF# #r v#fr p s ur p lvr v#lgt xlvgr v#fr q#h#f dhqvl I 9#Od#s xq#vddgdg#h#d#hmf xfl q#gh#r v# s ur hf w#h#v#k#s ulr ulgdg#s dud#h# und#gh# p hwdp hf qlf d#h#ylwqgr#fr wv#dglflrqdchv# # ir u#dchflhgr#d#fr qildq d#gh#f dhqvl	D 4#Od#fr p s hvqfld#lj uhvlyd#gh#hp s uhvdf# t xh#r iuhf hq#s uhflr v#p v#e d#m v#s xgh#h#h#xflu# α v#p uj hqhv#gh#j dqdqfld#Mq#hp eduj r #hwr# d#p hq#gr#fr q#dhyd#ulhvjr v#gh#fr p s ur p hvu# α#f ddgdg#r#t xh#s xgh#h#lihf v#d#s hufhs fl q# j hqhudo#gh#h#f wul D 5#Od#lqfrus rufdl q#gh#h#f q#r α j d#lydq dgd# #s ur fhv#v#dxw#p dv# dgr v#s r u#s d#h#gh# qxhyr v#fr p s hvg#r uhv#s hup lvw#iuhf hu# vhp s r v#gh#h#qwhj d#p v#u s lgr v# #fr wv# rs hudvyr v#p v#e d#m v#r#t xh#h#s uhvq#v#kqd# dp hqd d#s dud#hp s uhvdf#t xh#q#r #lgrs v#h#h#v#v# lqqr ydflr qhvl D 6#Od#lqf ds dflgdg#gh#r v#s ur ylhgr uhv# α f dchv#s dud#v#v#id#f h#u#d#ghp dqgd#gh# p d#ulddh#v#u v#fr v#fr p r #d#f hur #h#w#f#w#udo# v#ogdxudv#h#s hfl dchv# #khu#p lhq#v#v# h#s hf ilf dv#s xgh#h#j hqhudo#h#v#v# v#ljlilf dlyr v#h#q#r v#s ur hf wvl D 7#Od#h#h#h#qfld#gh#r v#f dhqv#v#d#s ulr ul du#h# fr wv#r#e u#d#f ddgdg#s xgh#h#fr p s ur p hvu#d# uhqv#leldgdg#gh#r v#s ur hf w#v# #lihf v#u# qhj dlydp hqv#d#d#exudeldgdg# #h#ghvhp s h r# gh#d#v#h#w#f#w#ud# #fr p s r qhqv#v# p hwdp hf qlfr vl D 8#Od#fr qglflrqh#v#f dp v#f dv#d#gy h#v#v# fr p r #α#yldv#lqv#v#v#r #h#p s hudv#v#v# h vhp dv#lp s df v#q#gluhf v#p hqv#h#q#r v# vhp s r v#gh#h#h#mf xfl q#gh#d#v#e u#d#v# #h#q#h# ghvhp s h r#gh#r v#ht xls r v# #p d#ulddh# xvd dgr vl

Nota. Este grafico corresponde a matriz DOFA de CIAM S.A.S BIC. Tomado de CIAM S.A.S

BIC.

1.2.1 Planteamiento del problema

De acuerdo con lo señalado, en el sector de los hidrocarburos, la operación que rinde y es sostenible de sistemas tan importantes como las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) y de aguas residuales (PTAR), depende directamente de que se les haga un buen mantenimiento a sus equipos, lo que incluye las bombas, los sistemas eléctricos y los instrumentos. Por esto, en el Campo Cusiana, un lugar de mucha importancia estratégica para Ecopetrol S.A., lo que se solicita en calidad, cumplimiento de normas y sostenibilidad ambiental es muy estricto, debido al efecto directo de la operación en la producción, el medio ambiente y las comunidades cercanas a este entorno, aunque esto está claro, hay problemas grandes para lograr y mantener esos estándares.

El problema más grande que se ha visto es la falta de un plan bien estructurado de calidad, inspección y ensayos que asegure un manejo que funcione mejor en la operación y el mantenimiento de estos sistemas, puesto que, en este momento, las actividades de mantenimiento se hacen bajo una forma de trabajar que es más que todo reactiva, es decir, un modo que se basa en reparar los equipos solo después de la falla. Si bien esta forma de trabajar puede ser común en algunas empresas de servicios por una idea equivocada de ahorro a corto plazo, los estudios y la experiencia en la industria muestran que es la forma más cara y que menos funciona a largo plazo (Graisa & Alhabaibeh, 2011).

De ahí que este modelo de "correr hasta fallar" crea un círculo de nunca acabar con fallas que no se esperan, costos de operación altos y que no se pueden predecir, y una bajada muy

fuerte en la confiabilidad y disponibilidad de los equipos, ya que investigaciones en sectores con problemas parecidos han medido este efecto, mostrando que una manera reactiva puede hacer que los equipos pierdan más del 30% de su tiempo en paradas para reparaciones, funcionando con una disponibilidad real de apenas el 65% y con tiempos promedio de reparación que pasan de las 15 horas por cada evento (Palomino & Tokumori, 2020).

Este problema operativo se hace peor por la falta de uniformidad y estandarización en las inspecciones y las pruebas, de hecho, el no tener un sistema bien planeado ha sido visto como una de las debilidades más grandes en las empresas que dan servicios de mantenimiento, limitando su chance de mejorar la fiabilidad y de controlar los costos de una buena manera (Vidal & Herrera, 2016). Y sin un plan coherente, las inspecciones se hacen al ojo y de vez en cuando, lo que no deja recoger datos confiables y, por consiguiente, hace más difícil darse cuenta a tiempo de cómo se van dañando las cosas y tomar acciones para corregir a tiempo.

A este problema de adentro se le suma una diferencia clave en la forma de pensar con el cliente principal, porque, por un lado, están las ganas de cumplir con las normas técnicas que dicen los estándares internacionales como la norma ISO 10005, que pide una forma ordenada de hacer las cosas para planificar y ejecutar los servicios de mantenimiento con criterios de calidad (Yáñez, 2008). Por otro lado, y esto es más grave, la forma reactiva de ahora no tiene nada que ver con las filosofías modernas de gestión, de modo que Ecopetrol S.A., como muchas empresas líderes del sector, ha pasado por cambios muy grandes para hacer mejor su competitividad y eficiencia, dejando atrás las formas viejas de manejar las cosas (Valbuena, 2015).

En ese sentido, seguir con un mantenimiento reactivo es estar en total desacuerdo con las mejores prácticas de la industria, como el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), que son muy importantes para manejar activos en industrias de mucho capital, y esta diferencia se vuelve todavía más crítica si se piensa que la misma Ecopetrol ha encontrado en sus auditorías internas problemas de "no confiabilidad operacional y mantenimiento" en sus plantas de tratamiento de agua, lo que muestra lo sensible que es el cliente con este problema específico (Ecopetrol S.A, 2015).

Finalmente, la situación social y ambiental del Campo Cusiana le pone más complicate y riesgo al asunto, ya que la industria de hidrocarburos en Colombia, y sobre todo en regiones como Casanare, trabaja en un ambiente donde ya ha habido problemas complicados sociales, ambientales y de trabajo (Vera, 2012). En este escenario, el permiso de la gente para operar no es un papel firmado, sino una aceptación que debe ganarse todo el tiempo con las comunidades.

Por lo cual una falla en la operación, como un derrame o un vertimiento mal hecho por un mantenimiento pobre, puede ser la chispa que encienda problemas sociales graves, protestas y bloqueos que pueden parar la producción y causar pérdidas de plata gigantescas (Manrique, 2018), de modo que la falta de un enfoque completo y que se adelante a los problemas para atender estas exigencias de sostenibilidad no solo trae malos resultados para la reputación de la empresa, sino que pone en peligro que el negocio pueda seguir funcionando y su capacidad para competir en el mercado (Báez, 2011).

En vista de este problema tan variado, se ve la gran necesidad de diseñar y poner a funcionar un Plan de Calidad, Inspección y Ensayo (PCIE) para el mantenimiento de los sistemas del Campo Cusiana, y este plan debe ser el empujón que se necesita para pasar de un modelo caro y arriesgado que solo reacciona, a uno que se adelanta y predice las cosas. Su objetivo es asegurar que se cumplan las normas, garantizar la sostenibilidad en la operación y en lo ambiental, y mejorar la confianza en los equipos con procesos bien armados, que estén en la misma línea de los objetivos estratégicos de Ecopetrol S.A. y de los principios de la ingeniería de mantenimiento y la gestión de activos moderna.

1.3 Objetivos de la pasantía

1.3.1 Objetivo general

Apoyar la implementación del plan de calidad para inspección y ensayos en el mantenimiento de bombas, sistemas eléctricos e instrumentación del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, bajo los lineamientos de la norma ISO 10005.

1.3.2 Objetivos específicos

Diagnosticar el cumplimiento de estándares de calidad y las condiciones actuales del sistema de mantenimiento de campo Cusiana, para establecer una línea base que permita

identificar las brechas y oportunidades de mejora frente a los requisitos del cliente y la normativa aplicable.

Analizar y estructurar un plan de calidad, inspección y ensayo, cumpliendo con las especificaciones técnicas que suministra el cliente y alineado con las normativas aplicables, con el fin de definir los procedimientos, recursos y criterios de aceptación necesarios para garantizar la conformidad y eficacia del servicio de mantenimiento.

Verificar la implementación y el control del plan de calidad, inspección y ensayo, para asegurar su correcta ejecución, medir su efectividad y proponer acciones de mejora continua que contribuyan al cumplimiento de los estándares de Ecopetrol S.A.

1.4 Descripción de las actividades a desarrollar en la misma

Tabla 2

Descripción de las actividades

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades para desarrollar en la empresa para cumplir los objetivos específicos
Ds r du#p s dhp hqwf1 q# ghos adq#ghf ddgdg# dud# lqs hffl q# #hqvd r v#h# p dqvqlp lhqw#gh#erp edv# v#wip dv#ho fwlfr v#h# lqwxp hqwf1 q#gho#v#wip d# gh#wvlp lhqw#gh#ljxd# s r v#e d# #hvlxdo#gho#F dp s r# Fxvldq#gh#Hfrs hwr #MD# e d#r v#lqhdv lhqw#gh#d# qr up d#LVR#43338#	Gldjqr wlf du#h# fxp s dp lhqw#gh# hwwqgdhv#gh# fddgdg# #dv# frqglflrqhv# dfwddhv#gh# v#wip d#gh# p dqvqlp lhqw#gh# fdp s r#Fxvldqdl	4l lghqwilf du#r v#ht xhulp lhqw v#wfqlfr v# #frqwdf wddhv#hwd chflgr v# r u# Hfrs hwr #MD1 5l Hydxdv#f ds dflgdghv#s hvdvdyv# # wfqlfdv#gh#r v#ht xls r v# #hos hwr qd# lqyr xfdgr #s dud#fxp s du#fr q#r v# uht xlv#r v#hwd chflgr v# r u#h#f dhqvl 6l Ghvup lqdu#r v#kdod jr v#gh#d# hp s uhvd#h#h#dfl q#fr q#d#j hvl q#gh# p dqvqlp lhqw#s dud#ghqwilf du#h#hvjr v# # rs r u#wqlgdghv#gh#p hnu dl

Objetivo general	Objetivos específicos	Actividades para desarrollar en la empresa para cumplir los objetivos específicos
Ds r du#d#p s dhp hq#f1 q# gh#s adq#gh#fddgdg#s dud# lqs hffl q# #hqv d r v#h#h# p dq#hqlp lhqw#gh#r p edv# v#w#p dv#h#o f#w#f r v#h# lq#w#p hq#f1 q#gh#h#h#p d# gh#h#d#p lhqw#gh#h#d#x# s r v#e#h# #h#v#l#g#d#o#gh#h#F dp s r# Fxvldq#gh#h#f r s h#w#r o#MD# e d#h#r v#h#l#q#h#p lhqw#gh#h#d# qr up d#LVR#433381	Dqdd du#q#s adq# gh#fddgdg/# lqs hffl q# # hqvd r/# fxp s dhqgr#f r q# hvs hflilf dflr qhv# wfqlf dv#xh# vxp lqlw#h#h# fdhqv#h#ddqhdgr# frq#h#v# qr up d#v#ydv# ds df de chvl	41 Hw#e chf h#s r u#xqlgdghv#gh#p h#mud# # s adq#gh#h#f1 q#s dud#r v#s ur fhg1p lhqw v# rs hudvyr v# #s ur wfr r v#gh#lqs hffl q# hvs hf ilfr v#s dud#p dq#hqlp lhqw l 51 Ip s dhp hq#w#h#q#p hf dqlv p r#gh# vhj xlp lhqw#e d#dgr#h#h#h#f xp s dp lhqw# gh#s ad r v#h#w#e chf lgr v# #xq d#h#y d#x dfl q# gh#h#d#v i dffl q#h#d#f d hqv#s dud#p hglu#d# hi hf v#ylgdg#gh#s adq l 3. Hw#e chf h#s q#h#h#p d#gh#h#h#w# q#h#xh# j dudq#f h#h#f xp s dp lhqw#gh#h#r v# hwwqgdhv#gh#fddgdg# #h#j xulgdg# ddqhdgr v#d#SGW#gh#s ur hfw l
	Yhulilf du#h# lp s dhp hq#f1 q# # frq#w#r o#gh#s adq# gh#fddgdg/# lqs hffl q# # hqvd r l	41 Frruglqdu#h#h#h#f xfl q#gh#h#d#v# df v#ylgdghv#gh#p dq#hqlp lhqw#f r qir up h# d#r v#h#l#q#h#p lhqw#gh#h#lqlgr vl 51 P rqlwuhdu# #h#y d#x d#h#h#h#h#p s h r#gh# ad v#lqs hffl r qhv# #hqv d r v#h#d#d dgr vl 3. J hqhdu#h#qir up hv#gh#h#h#w# q#h#xh# uhvs dogh#h#d#h#p d#gh#h#h#f lvr qhv# # dvhj xuh#h#d#p h#mud#f r qv#xdl

Nota. Esta tabla corresponde a la descripción de las actividades.

2. Enfoques referenciales

2.1 Enfoque conceptual

De acuerdo con lo señalado, el mantenimiento industrial, sobre todo en sectores muy críticos como el de los hidrocarburos, ya no se ve solo como un simple arreglo, porque ahora se ha consolidado como una disciplina estratégica y muy importante para la competitividad, la seguridad y la sostenibilidad de las operaciones (Almanza, 2022). En un ambiente donde las fallas en la operación pueden traer consecuencias económicas, ambientales y humanas muy grandes, el manejo de los activos físicos pide una forma de adelantarse a los problemas y que se base en el análisis de riesgos, alejándose así de las prácticas que solo reaccionan a las fallas, de modo que esta evolución ha creado un abanico de estrategias de mantenimiento que se deben escoger y aplicar de forma diferente, según cómo sea y qué tan importante sea cada equipo dentro del proceso de producción (Cano, 2025).

La progresión de estas estrategias arranca con el mantenimiento correctivo, el cual solo actúa después de que la falla ya ocurrió, lo que sin falta lleva a paradas de producción que no estaban planeadas, a costos altos que no se pueden predecir y a un riesgo grande para la seguridad (Almanza, 2022). Como un paso adelante hacia la proactividad, aparece el mantenimiento preventivo, que se trata de hacer tareas de revisión y cambio de partes en intervalos de tiempo o de uso ya definidos, con el fin de bajar las chances de que ocurran fallos (Solís & Torres, 2021). Aunque esta forma de trabajo ayuda a planificar mejor los recursos, su

punto más débil es que no mira cómo está el equipo en realidad, lo que puede llevar a meterle mano sin necesidad o, al contrario, a no evitar fallas que pasan antes de lo que se esperaba.

Con el fin de superar estos límites, el mantenimiento predictivo se ha vuelto una de las estrategias más efectivas, ya que se basa en estar vigilando todo el tiempo la condición en que operan los equipos para así adelantarse a las fallas antes de que aparezcan (Almanza, 2022). Este enfoque usa técnicas modernas para diagnosticar, como el análisis de vibraciones, que permite encontrar con mucha exactitud problemas en equipos que giran, como desbalances, desalineaciones o daños en los rodamientos y como complemento, se usa la termografía infrarroja para ver patrones de calor raros, o "puntos calientes", en sistemas eléctricos y mecánicos, los cuales son señales de conexiones malas, sobrecargas o mucha fricción, lo que ayuda a arreglar posibles problemas antes de que se vuelvan fallas muy grandes (Lancho, 2008).

Debido a que es imposible técnica y económicamente usar las técnicas más avanzadas en todos los activos de una planta, se necesita una forma de trabajo para dar prioridad a los esfuerzos de mantenimiento, por lo cual el análisis de criticidad aparece como la herramienta ordenada para poner los equipos en niveles de importancia, según el riesgo que significan para la organización. Este análisis, que es de tipo semicuantitativo, dice que la criticidad depende de qué tan probable es que algo falle y de qué tan graves son sus consecuencias, midiendo los efectos en áreas clave como la seguridad, el medio ambiente, la producción y los costos de operación. Por consiguiente, el resultado es una lista de los activos por niveles de criticidad, ya sea alta, media o baja, lo que permite asignar con justificación y de forma eficiente la estrategia de mantenimiento que más le conviene a cada uno, mejorando así el uso de los recursos (Meza & Velasquez, 2024).

En ese sentido, la correcta ejecución de estas estrategias de mantenimiento tiene que ser manejada con un sistema formal que asegure la calidad, la consistencia y el seguimiento de las acciones, por ello, el Plan de Calidad, que se desarrolla siguiendo las guías de la norma internacional ISO 10005, es el documento que convierte los requisitos técnicos y del contrato en procedimientos y prácticas de trabajo específicas. Este plan no debe funcionar solo, sino que tiene que estar metido dentro de un Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) que siga la norma ISO 9001, y es mejor si está dentro de un Sistema Integrado de Gestión (SIG) que ponga en armonía las normas de calidad (ISO 9001), gestión ambiental (ISO 14001) y seguridad y salud en el trabajo (ISO 45001) ya que juntar estos sistemas permite un manejo completo de los riesgos y una optimización de los procesos y recursos de la organización (Muñoz & Salazar, 2021).

Por ello, lo que mueve la dinámica de estos sistemas de gestión es el ciclo de mejora continua Planificar-Hacer-Verificar-Actuar (PHVA), también conocido como el ciclo de Deming. Esta forma de trabajar que se repite es clave para asegurar que el Plan de Calidad no sea un papel guardado, sino un sistema vivo que evoluciona y se hace mejor, es decir, la fase de Planificar define las metas y los procesos, la de Hacer pone en práctica lo planeado, la de Verificar vigila y mide los resultados comparándolos con las metas, y la de Actuar toma acciones para corregir lo que se desvió y para mejorar continuamente el desempeño, de modo que esta estructura en ciclo asegura la adaptación y la efectividad constante del sistema de gestión (Moyona & Villamil, 2021).

Finalmente, es muy importante que toda esta estructura de ideas y métodos se haga cumpliendo al pie de la letra las reglas que hay vigentes en Colombia, ya que para las actividades

que tienen que ver con sistemas eléctricos, el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) pone los requisitos de seguridad obligatorios que deben cumplir tanto las instalaciones como los procedimientos de mantenimiento para bajar los riesgos de origen eléctrico (Ministerio de Minas y Energía de Colombia, 2024). De forma parecida, la operación y el mantenimiento de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) y de Aguas Residuales (PTAR) deben seguir los criterios técnicos que se ponen en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), con el fin de asegurar la calidad del agua que se trata y la protección de la salud de la gente y del medio ambiente (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia, 2020). Por lo cual, tener en cuenta estos requisitos normativos desde que se empieza a planificar es una condición que no se puede saltar para garantizar que las operaciones no solo sean eficientes y confiables, sino también seguras y que cumplan con la ley.

2.1.1 Gestión de activos

La gestión de activos es un enfoque estratégico que busca optimizar el ciclo de vida de los activos físicos, garantizando la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia operativa. Según la norma ISO 55000, 2014. Un activo es cualquier elemento que tenga valor para una organización, y su correcta administración permite minimizar costos, mitigar riesgos y mejorar el desempeño de los procesos industriales. Esta definición resalta la importancia de gestionar eficientemente los activos para maximizar su valor y utilidad, por lo cual, en el contexto de la empresa representa su rendimiento y eficiencia frente a las tareas de mantenimiento y eficacia.

2.1.2 Tipos de mantenimiento

El mantenimiento es un conjunto de estrategias diseñadas para preservar el funcionamiento óptimo de los equipos y sistemas en una organización. Estas actividades se dividen en varios tipos, cada uno con un enfoque específico para prevenir fallos, corregir problemas y optimizar la disponibilidad de los activos. A continuación, se describen los principales tipos de mantenimiento.

2.1.2.1 Mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo es la estrategia de mantenimiento que se aplica cuando un equipo ha fallado y requiere intervención para restablecer su operatividad. Este enfoque es reactivo, ya que la acción correctiva ocurre después de la falla, lo que puede generar tiempos de inactividad (Mora, 2009). El mantenimiento correctivo es crucial para atender fallas imprevistas, Sin embargo, su uso excesivo puede afectar la disponibilidad de los activos y aumentar los costos operativos debido a la necesidad de repuestos no programados y la afectación a la producción.

2.1.2.2 Mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo es una estrategia de mantenimiento basada en la ejecución de inspecciones, ajustes y sustitución de componentes en intervalos de tiempo definidos, con el objetivo de prevenir fallas antes de que ocurran (Mora, 2009). Este enfoque permite reducir tiempos de inactividad, mejorar la confiabilidad operativa y optimizar la vida útil de los equipos.

2.1.2.3 Mantenimiento predictivo. Este tipo de mantenimiento utiliza tecnologías de monitoreo en tiempo real, como la vibración, temperatura, y análisis de aceite, para prever posibles fallos antes de que ocurran. Al identificar patrones anormales en el funcionamiento de los equipos, según (RENOVETEC) el mantenimiento predictivo permite intervenir en el momento adecuado, evitando fallos y reduciendo costos.

2.1.2.4 Mantenimiento autónomo. En el mantenimiento autónomo, los operadores de los equipos asumen responsabilidades básicas de mantenimiento, como la limpieza, lubricación y ajustes menores, este enfoque promueve la participación de los operadores en el mantenimiento y mejora la fiabilidad operativa a través de un cuidado continuo (Montilla, 2019).

2.1.2.5 Mantenimiento Basado en Confiabilidad. El Mantenimiento Basado en Confiabilidad (RCM) es un enfoque estratégico que busca optimizar las tareas de mantenimiento para maximizar la confiabilidad de los equipos, se basa en un análisis detallado de las funciones críticas de los equipos, identificando los modos de fallo y determinando las acciones de mantenimiento más efectivas para prevenir o mitigar esos fallos (Montilla, 2019).

2.1.3 Plan de calidad

Un Plan de Calidad es un informe técnico normativo que especifica los procedimientos, criterios de inspección y ensayos requeridos para garantizar el cumplimiento de las disposiciones contractuales y regulatorias aplicables. En el ámbito del mantenimiento, este plan define estrategias de gestión orientadas a maximizar la confiabilidad operativa, mitigar fallos

potenciales y asegurar la continuidad funcional de los activos, para garantizar la satisfacción del cliente, basándose en los lineamientos de la norma ISO 10005.

2.2 Enfoque legal

Este apartado abarca los aspectos normativos y reglamentarios que enmarcan las actividades de mantenimiento, inspección y ensayo en el sector hidrocarburo. Para garantizar la correcta seguridad, eficiencia operativa y sostenibilidad ambiental de la empresa. A continuación, se detallan los principales aspectos legales que regulan la ejecución del mantenimiento en este ámbito, incluyendo las normativas nacionales e internacionales aplicables en las áreas de gestión de calidad, mantenimiento industrial, seguridad y salud en el trabajo, regulación eléctrica y sostenibilidad ambiental.

2.2.1 Normas de seguridad y salud en el trabajo (SST)

Las siguientes normas rigen la seguridad y salud en el trabajo:

2.2.1.1 Ley 1562 de 2012. Esta ley modifica el sistema de riesgos laborales y establece disposiciones sobre la seguridad y salud en el trabajo, obliga a las empresas a implementar programas de prevención y control de riesgos laborales (Congreso de la República de Colombia, 2012).

2.2.1.2 Resolución 1111 de 2017. Define los estándares mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST); Las empresas deben cumplir con estos estándares para garantizar un ambiente laboral seguro y saludable (Ministerio del Trabajo, 2017).

2.2.2 Normas ambientales

Las siguientes normas rigen la gestión ambiental:

2.2.2.1 Ley 99 de 1993. Esta ley crea el Ministerio del Medio Ambiente y establece las bases para la política ambiental en Colombia. Regula el manejo de residuos y el control de emisiones contaminantes, aspectos importantes en el sector hidrocarburo (Congreso de la República de Colombia, 1993).

2.2.2.2 Resolución 0689 de 2018. Establece los requisitos para el manejo y disposición de residuos peligrosos. Las actividades de mantenimiento deben cumplir con estas disposiciones para evitar la contaminación ambiental.

2.2.3 Normativas eléctricas colombianas

Entre estas normativas a nivel nacional se encuentran:

2.2.3.1 Resolución 40117 de 2024. El presente Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE, establece las medidas tendientes a garantizar la seguridad de las personas, de

la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente; minimizando los riesgos de origen eléctrico. Adicionalmente, garantiza que los sistemas e instalaciones, equipos y productos utilizados en procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y uso final de la energía eléctrica, cumplan con los objetivos reglamentarios (Ministerio de minas y energía, 2024).

2.2.4 Normativas internacionales

Se encuentran las diversas normas técnicas de carácter internacional:

2.2.4.1 ISO 10005- Directrices para Planes de Calidad. La norma ISO 10005:2018 proporciona directrices para la elaboración, implementación y control de planos de calidad en organizaciones de diversos sectores. Su objetivo es asegurar que los procesos, productos y servicios cumplan con los requisitos contractuales, normativos y de las partes interesadas. Esta norma es especialmente útil en entornos donde se requiere una planificación estructurada de la calidad, como en proyectos de mantenimiento industrial, garantizando la eficiencia operativa, la trazabilidad y la satisfacción del cliente (Organización Internacional de Normalización., 2018).

2.2.4.2 ISO 9001- Sistemas de Gestión de Calidad. Es un estándar internacional para sistemas de gestión de la calidad (SGC) que establece los requisitos para garantizar la eficiencia en los procesos, la mejora continua y la satisfacción del cliente. Se aplica a organizaciones de cualquier sector y tamaño, proporcionando un enfoque basado en la gestión por procesos y el ciclo PHVA (Planificar, Hacer, Verificar, Actuar). Su implementación permite optimizar la

operatividad, reducir errores y mejorar la competitividad en el mercado (Organización Internacional de Normalización, 2015),

2.2.4.3 ISO 55000- Gestión de Activos. Esta serie de normas internacionales proporciona un marco para la gestión eficiente de los activos físicos a lo largo de su ciclo de vida. La ISO 55000 define principios y terminología básica, mientras que la ISO 55001 establece los requisitos para un sistema de gestión de activos, y la ISO 55002 proporciona directrices para su aplicación, estas normas son fundamentales para implementar buenas prácticas de gestión de activos en la industria de hidrocarburos (Organización Internacional de Normalización, 2014).

2.2.4.4 ISO 45001- Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo. Esta norma internacional especifica los requisitos para un sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo (SST) y proporciona directrices para su uso, la implementación de un SG-SST conforme a la ISO 45001 ayuda a las organizaciones a proporcionar un lugar de trabajo seguro y saludable, previniendo lesiones y enfermedades relacionadas con el trabajo (Organización Internacional de Normalización, 2018).

2.2.4.5 ISO 14001- Sistema de Gestión Ambiental. Es un estándar internacional que establece los requisitos para un Sistema de Gestión Ambiental, permitiendo a las organizaciones identificar, gestionar y minimizar su impacto ambiental de manera sistemática. Su enfoque basado en la mejora continua ayuda a optimizar el uso de recursos, reducir la contaminación y cumplir con la normativa ambiental vigente. La implementación de ISO 14001 no solo mejora la

sostenibilidad operativa, sino que también fortalece la reputación y el cumplimiento de responsabilidades corporativas (Organización Internacional de Normalización, 2015).

3. Informe de cumplimiento de trabajo

3.1 Presentación de resultados

Durante la pasantía, se presentaron los siguientes resultados acorde al objetivo general, objetivos específicos y actividades correspondientes.

3.1.1 Diagnosticar el cumplimiento de estándares de calidad y las condiciones actuales del sistema de mantenimiento de campo Cusiana

3.1.1.1 Identificar los requerimientos técnicos y contractuales establecidos por Ecopetrol S.A. Para cumplir esta actividad se identificaron los requerimientos técnicos y contractuales solicitados por el cliente, el cual se contratará el servicio de mantenimiento mecánico, eléctrico y de instrumentación de bombas para el sistema de tratamiento de agua potable y residual de campo CUSIANA perteneciente a la vicepresidencia de operación de desarrollo y producción piedemonte de ECOPETROL S.A.

Según Ecopetrol S.A., la prestación del servicio de mantenimiento debe garantizar la confiabilidad operacional y el gerenciamiento de activos, asegurando la integridad técnica y física de las instalaciones, con énfasis en la disponibilidad, confiabilidad y eficiencia de los equipos, según las necesidades del negocio, cumpliendo los más altos estándares de salud, seguridad (física e industrial) y protección del medio ambiente.

El alcance general del contrato comprende la planeación, programación y ejecución del mantenimiento integral de los equipos y sistemas de control asociados a planta de tratamiento de agua potable (PTAP), planta de tratamiento de agua residual (PTAR), en la tabla 3; se muestran los tipos de mantenimientos y actividades generales para PTAP y PTAR.

Tabla 3

Tipos de mantenimientos y actividades generales para PTAP y PTAR

Tipo de Mantenimiento	Actividades	Frecuencia	Normativa Aplicable
Mantenimiento preventivo.	• Inspección de rodamientos y alineación. • Lubricación de componentes mecánicos. • Verificación de fugas y estado de sellos mecánicos. • Revisión de presiones y caudales. • Medición de resistencia de aislamiento. • Ajuste de conexiones eléctricas. • Inspección de acoples o bridas. • Inspección de fugas y corrosión. • Pruebas de funcionamiento y calibración. • Reemplazo de empaques y sellos.	Semanal, mensual. (según corresponda)	ISO 55000: 2014
	• Reparación o reemplazo de componentes dañados. • Corrección de desalineaciones. • Sustitución de rodamientos y sellos. • Cambio de componentes eléctricos defectuosos. • Restablecimiento de circuitos en caso de fallas.	Según falla	ISO 14224: 2016
Mantenimiento correctivo			RETIE
			NFPA 70E

Tipo de Mantenimiento	Actividades	Frecuencia	Normativa Aplicable
Mantenimiento predictivo.	• Termografía infrarroja para detección de puntos calientes. • Análisis de vibraciones en rodamientos. • Monitoreo de corriente y tensión. • Análisis de tendencias en consumo eléctrico.	Bimestral, anual.	ISO 17359: 2018

Nota. Tipos de mantenimientos y actividades generales para PTAP y PTAR, de acuerdo con los lineamientos de Ecopetrol S.A.

3.1.1.2 Evaluar las capacidades operativas y técnicas de los equipos y el personal involucrado, para cumplir con los requisitos establecidos por el cliente. Para cumplir con esta actividad se realizó un análisis que consistía en identificar los equipos a los que se les va a realizar el servicio de mantenimiento para determinar su estado operativo, en la tabla 4; se muestran los equipos pertenecientes a Ecopetrol, luego de identificar los equipos en la empresa, se realizó un análisis de criticidad para priorizar aquellos activos cuyo estado puede impactar la operatividad, seguridad y cumplimiento del plan de calidad, permitiendo así una gestión eficiente del mantenimiento.

La criticidad es un parámetro que permite determinar el nivel de importancia de un equipo, sistema o proceso dentro de una operación industrial, basado en su impacto en la producción, seguridad, costos y medio ambiente en caso de falla. Su análisis es fundamental en la gestión de mantenimiento, ya que permite priorizar intervenciones, optimizar recursos y reducir el riesgo de fallas críticas que puedan comprometer la continuidad operativa. El análisis

de criticidad se basa en la identificación de los equipos clave dentro del sistema y la evaluación de las consecuencias de sus fallas, con el fin de establecer estrategias de mantenimiento que aseguren su disponibilidad y confiabilidad.

Tabla 4

Equipos identificados: sistemas de tratamiento agua cruda, potable y residual

TAG	Equipo	Capacidad operativa
P-7501A	Bomba electrosumergible del pozo colector.	Equipo operativo
P-7501B	Bomba electrosumergible del pozo colector.	Equipo operativo.
DP-7106G	Tablero eléctrico sistema hidroneumático de agua industrial.	Equipo operativo, pero requiere de un mantenimiento general preventivo.
M-7114F	Electrobomba sistema hidroneumático de agua industrial.	Equipo operativo.
M-7114G	Electrobomba sistema hidroneumático de agua industrial.	Equipo operativo.
TQ-104006	Tanque del sistema hidroneumático de agua industrial.	Full de agua, requiere de un lavado interno.
TK-7106	Tanque de agua potable.	Full de agua, requiere de un lavado y desinfección interno.
PE-7106	Tablero eléctrico sistema hidroneumático de agua potable.	Equipo operativo.
M-7114A	Electrobomba sistema hidroneumático de agua potable.	Fuera de servicio.
M-7114B	Electrobomba sistema hidroneumático de agua potable.	Equipo operativo.
M-7114C	Electrobomba sistema hidroneumático de agua potable.	Equipo operativo.
LSL-7115	Swich de nivel bajo de tanque de agua potable.	Equipo operativo.
LSH-7115	Swich de nivel alto de tanque de agua potable.	Equipo operativo.
LIT-7115	Sensor de baja tanque de agua potable.	Equipo operativo.
PB-7106	Tablero eléctrico general del sistema de ARD.	Requiere de un mantenimiento preventivo general.

TAG	Equipo	Capacidad operativa
FCV-7110	Válvula solenoide PTAP	Requiere de cambio o mantenimiento, presenta fuga de agua.
CP-7115A	Tablero eléctrico principal PTAP.	Requiere de un mantenimiento preventivo general, algunos bombillos y contactores no funcionan.
K-7101	Soplador agitador PTAP.	Fuera de servicio, no se necesita.
P-7112A	Dosificador de cal hidratada.	Equipo operativo.
P-7112B	Dosificador de cal hidratada.	Equipo operativo.
P-7113A	Dosificador de cloro.	Equipo operativo.
P-7113B	Dosificador de cloro.	Equipo operativo.
M-7110A	Electrobomba de filtración PTAP.	Equipo operativo.
M-7113B	Electrobomba de filtración PTAP.	Equipo operativo.
M-7109A	Electrobomba de transferencia PTAP.	Equipo operativo.
M-7109B	Electrobomba de transferencia PTAP.	Equipo operativo.
V-7115A	Filtro PTAP.	Equipo operativo.
V-7115B	Filtro PTAP.	Equipo operativo.
PE-7104	Compartimiento sedimentador PTAP.	Operativo.
ME-7105	Compartimiento de transferencia PTAP.	Operativo.
ME-7104	Compartimiento de aireación PTAP.	Operativo.
TK-7107	Tanque de agua cruda.	Operativo.
P-7114D	Electrobomba sistema de agua cruda.	Equipo fuera de servicio.
P7114E	Electrobomba sistema de agua cruda	Equipo operativo
PA-N2	Pozo agua 2	Operativo.
PA-N3	Pozo agua 3	Operativo, falta de intervención general.
PA-N4	Pozo agua 4	Operativo, se creó un aviso para cambio de Breker principal.

Nota. Equipos identificados con su capacidad operativa actual.

Para realizar un análisis de criticidad efectiva, se deben considerar los siguientes criterios:

Impacto en la operación: Se evalúa el grado en que la falla de un equipo afecta la continuidad del proceso. Un equipo con alto impacto es aquel cuya falla puede interrumpir completamente la producción o disminuir significativamente la eficiencia del servicio.

Consecuencias de falla: Se analiza el impacto de una falla en términos de seguridad del personal, afectación ambiental y costos operativos. Las consecuencias pueden variar desde riesgos menores hasta fallos críticos que comprometen la integridad del sistema.

Frecuencia de fallas: Se estudia el historial de mantenimiento y la recurrencia de fallas del equipo. Equipos con fallas frecuentes requieren acciones correctivas urgentes, mejoras en mantenimiento preventivo o la implementación de estrategias predictivas para evitar paradas no programadas.

Mantenimiento requerido: Se identifican las acciones necesarias para mantener el equipo en condiciones óptimas. Los equipos se clasifican según el tipo de mantenimiento requerido, priorizando aquellos que influyen directamente en la confiabilidad del sistema.

Disponibilidad de repuestos y tiempo de reparación: Se evalúa la facilidad de acceso a repuestos y el tiempo estimado para la reparación o reemplazo del equipo. Equipos sin repuestos disponibles o con largos tiempos de reparación presentan una mayor criticidad, ya que pueden generar interrupciones prolongadas en la operación. Se llevó a cabo la Matriz de Criticidad, con el propósito de identificar y clasificar los equipos del sistema de tratamiento de agua. Se analiza

cada equipo dentro del estudio en siete áreas de impacto, en la figura 2, se muestran las áreas de impacto y los niveles de riesgo.

Se creo la matriz de criticidad con el propósito de proporcionar un enfoque estratégico en la gestión de mantenimiento, priorizando las intervenciones de equipos más críticos, en la figura 3; se muestra la matriz de criticidad de los equipos de tratamiento de agua potable y residual de Campo Cusiana.

Figura 2

Áreas de impacto

Matriz de Criticidad			
Causas de paradas no planificadas			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo Alto	Riesgo Medio	Riesgo Bajo
Seguridad y Salud (S&S)	Alto riesgo de vida del personal Daños graves en la salud del personal Pérdida de material	Riesgo de vida significativo del personal Daños menores en la salud del personal	No existe riesgo ni de salud y daños al personal
Medio Ambiente (MA)	Derrames y fugas: Alto excedente de límites permitidos	Derrames y fugas: Repetitivas y excedentes a los límites permitidos	Emisiones normales de la planta dentro de los límites permitidos
Calidad y Productividad (C&P)	Defectos de producción Reducción de velocidad Reducción de producción	Variaciones en las especificaciones de calidad y producción	Sin efectos
Producción (P)	Parada de todo el proceso	Parada de una parte del proceso	Sin efectos
Operación de equipos			
Área de impacto	A	B	C
	Riesgo Alto	Medio Riesgo	Riesgo Bajo
Tiempos de operación (TO)	24 horas diarias	2 turnos u horas normales de trabajo	Ocasionalmente, o no es un equipo de producción
Intervalos entre actividades (TBF)	Menos de 6 meses	Promedio una vez al año	Raramente
Tiempos y costo de mantenimiento (MT)	Tiempos y/o costos de reparación altos	Tiempos y/o costos de reparación razonables	Tiempos y/o costos de reparación irrelevantes

Nota. Áreas de impacto y niveles de riesgo.

Figura 3*Matriz de criticidad*

TAG	EQUIPO	SEGURIDAD Y SALUD	MEDIO AMBIENTE	CALIDAD Y PRODUCTIVIDAD	PRODUCCION	TIEMPOS DE OPERACIÓN	INTERVALOS ENTRE ACTIVIDADES	TIEMPOS Y COSTOS DE MANTENIMIENTO	NIVEL DE CRITICIDAD
P-7501A	Bomba electrosomergible del pozo colector.	C	C	A	A	A	B	A	A
P-7501B	Bomba electrosomergible del pozo colector.	C	C	A	A	A	B	A	A
DP-7106G	Tablero eléctrico sistema hidroneumático de agua industrial.	A	C	A	A	A	B	A	A
M-7114F	Electrobomba sistema hidroneumático de agua industrial.	C	C	A	A	A	B	A	A
M-7114G	Electrobomba sistema hidroneumático de agua industrial.	C	C	A	A	A	B	A	A
TQ-104006	Tanque del sistema hidroneumático de agua industrial.	B	A	B	B	A	B	B	B
TK-7106	Tanque de agua potable.	C	A	B	B	A	B	B	B
PE-7106	Tablero eléctrico sistema hidroneumático de agua potable.	A	C	A	A	A	B	A	A
M-7114A	Electrobomba sistema hidroneumático de agua potable.	C	C	A	A	A	B	A	A
M-7114B	Electrobomba sistema hidroneumático de agua potable.	C	C	A	A	A	B	A	A
M-7114C	Electrobomba sistema hidroneumático de agua potable.	C	C	A	A	A	B	A	A
LSL-7115	Switch de nivel bajo de tanque de agua potable.	C	C	B	C	B	B	C	C
LSH-7115	Switch de nivel alto de tanque de agua potable.	C	C	B	C	B	B	C	C
LIT-7115	Sensor de baja tanque de agua potable.	C	C	B	C	A	B	B	B
PB-7106	Tablero eléctrico general del sistema de ARD.	A	C	A	A	A	B	B	A
FCV-7110	Válvula solenoide PTAP	B	C	A	B	A	B	B	B
CP-7115A	Tablero eléctrico principal PTAP.	A	C	A	A	A	B	A	A
K-7101	Soplador agitador PTAP.	C	C	B	C	B	C	B	C
P-7112A	Dosificador de cal hidratada.	C	C	C	C	B	C	B	C
P-7112B	Dosificador de cal hidratada.	C	C	C	C	B	C	B	C
P-7113A	Dosificador de cloro.	C	C	C	C	B	C	B	C
P-7113B	Dosificador de cloro.	B	C	C	C	B	C	B	C
M-7110A	Electrobomba de filtración PTAP.	B	C	A	A	B	B	A	A
M-7113B	Electrobomba de filtración PTAP.	B	C	A	A	A	B	A	A
M-7109A	Electrobomba de transferencia PTAP.	B	C	A	A	A	B	A	A
M-7109B	Electrobomba de transferencia PTAP.	B	C	A	A	A	B	A	A
V-7115A	Filtro PTAP.	C	C	B	C	A	C	B	C
V-7115B	Filtro PTAP.	C	C	B	C	A	C	B	C
PE-7104	Compartimiento sedimentador PTAP.	C	C	B	C	C	C	C	C
ME-7105	Compartimiento de transferencia PTAP.	C	C	B	C	C	C	C	C
ME-7104	Compartimiento de aireación PTAP.	C	C	B	C	C	C	C	C
TK-7107	Tanque de agua cruda.	C	A	B	B	A	B	B	B
P-7114D	Electrobomba sistema de agua cruda.	C	C	A	A	A	B	A	A
P7114E	Electrobomba sistema de agua cruda	C	C	A	A	A	B	A	A
PA-N2	Pozo agua 2	C	A	B	B	A	B	B	B
PA-N3	Pozo agua 3	C	A	B	B	A	B	B	B
PA-N4	Pozo agua 4	C	A	B	B	A	B	B	B

Nota. La figura correspondiente a la matriz de criticidad de los equipos de tratamiento de agua potable y residual.

A continuación, tabla 5; Matriz de Cumplimiento de Perfiles Profesionales, se presentan los requerimientos establecidos por Ecopetrol, con el objetivo de garantizar el cumplimiento del Plan de Calidad y fortalecer la operatividad en el mantenimiento del Campo Cusiana. Esta matriz permite evaluar el grado de cumplimiento de las competencias requeridas para cada perfil, identificando brechas y estableciendo acciones correctivas que contribuyen a la mejora continua del equipo de trabajo. Además, esta evaluación facilita la toma de decisiones estratégicas en cuanto a capacitación, asignación de recursos y mejora de los procesos de mantenimiento, asegurando altos estándares de seguridad, confiabilidad y desempeño técnico.

Tabla 5

Matriz de cumplimiento de perfiles profesionales

Cargo	Requisitos de Ecopetrol	Perfil actual en CIAM S.A.S BIG	Desviación identificada	Nivel de cumplimiento	Acción correctiva
Técnico electromecánico	Técnico o tecnólogo, Electricista, mecánico, industrial, electromecánico, electrónico o afines. Técnico: Siete (7) años de experiencia relacionada o deseable dos (2) años de experiencia específica. Tecnólogo: Seis (6) años de experiencia relacionada o deseable dos (2)	Técnico electricista, ocho (8) años de experiencia. Cursos: Conte TE- 1, TE- 2, TE-3, TE- 4, TE- 5 y TE- 6.	• Cumple con la experiencia. • Cumple con el perfil exigido. • Cuenta con los cursos CONTE.	ALTO.	N/A

Cargo	Requisitos de Ecopetrol	Perfil actual en CIAM S.A.S BIG	Desviación identificada	Nivel de cumplimiento	Acción correctiva
	años de experiencia específica. Cursos: Conte TE- 1, TE- 2, TE- 3, TE- 4 y TE- 5 OBLIGATORIO				
Ayudante técnico de electricidad	Técnico: Dos (2) años de experiencia relacionada Tecnólogo: Dos (2) años de experiencia relacionada. CURSOS: TE- 1, TE- 2, TE- 3, TE- 4 y TE- 5 OBLIGATORIO, Certificado de alturas.	Tecnólogo en mantenimiento o electromecánico, Cuatro (4) años de experiencia. Con Certificado de alturas.	• Supera el tiempo de experiencia exigido. • Cumple con el perfil. • No cuenta con los cursos CONTE. • Cuenta con certificado en alturas.	MEDIO.	Realizar curso de CONTE.
Técnico instrumentista	Técnico: Cinco (5) años de experiencia relacionada. Cursos: Conte TE- 1, TE- 2, TE- 3, TE- 4 y TE- 5 OBLIGATORIO	Técnico instrumentista, quince (15) años de experiencia relacionada. Cursos: Conte TE- 1, TE- 2, TE-3, TE- 4, TE- 5 y TE- 6	• Supera ampliamente la experiencia requerida. • Cuenta con los cursos CONTE.	ALTO.	N/A

Cargo	Requisitos de Ecopetrol	Perfil actual en CIAM S.A.S BIG	Desviación identificada	Nivel de cumplimiento	Acción correctiva
Planeador programador	Profesional con matrícula en las áreas de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica, mecánica, industrial, con experiencia superior a 5 años (>5) en función de dirección y/o supervisión de Mantenimiento eléctrico mecánico, industrial y de instrumentación del sector de Oíl & Gas.	Ingeniero civil, con experiencia superior a 5 años (>5) en función de dirección y/o supervisión de Mantenimiento eléctrico mecánico, industrial y de instrumentación del sector de Oíl & Gas.	• No cumple con el perfil académico requerido. • Cumple con la experiencia requerida.	MEDIO.	Gestionar profesional de acuerdo con los requerimientos.
Residente	Profesional con matrícula en las áreas de Ingeniería Eléctrica, Electromecánica, y a Fines con experiencia superior a 10 años (>10) en función de dirección y/o supervisión de Mantenimiento eléctrico mecánico, y de instrumentación del sector de Oíl & Gas.	Ingeniero electromecánico, con experiencia superior a 10 años (>10) en función de dirección y/o supervisión de Mantenimiento eléctrico mecánico, y de instrumentación del sector de Oíl & Gas,	• cumple con todos los requisitos exigidos.	ALTO.	N/A

Cargo	Requisitos de Ecopetrol	Perfil actual en CIAM S.A.S BIG	Desviación identificada	Nivel de cumplimiento	Acción correctiva
HSE	Profesional con matrícula en HSE y salud ocupacional, o Tecnólogo en gestión integrada de Calidad, Medio ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo, con experiencia superior a (un) 1 año (>1) en el sector de Oil & Gas.	Tecnólogo en gestión integrada de Calidad, Medio ambiente, Seguridad y Salud en el Trabajo, siete (7) años de experiencia relacionada	Cumple con la formación requerida. Supera ampliamente la experiencia mínima requerida.	ALTO.	N/A

Nota. Matriz de cumplimiento de perfiles profesionales, para el cumplimiento del plan de calidad.

Se refleja de manera efectiva el cumplimiento de los requisitos exigidos, Identificando desviaciones menores en ciertos aspectos. Para garantizar la alineación total con el Plan de Calidad, se proponen acciones correctivas que permitan fortalecer las competencias del personal y asegurar la continuidad operativa sin afectar el desempeño de los mantenimientos.

3.1.1.3 Determinar los hallazgos de la empresa en relación con la gestión del mantenimiento para identificar riesgos y oportunidades de mejora. Para llevar a cabo el cumplimiento de esta actividad se identificaron hallazgos en la gestión del mantenimiento de campo Cusiana, con el fin de evaluar riesgos y oportunidades de mejora. Durante la planeación del mantenimiento, se evidenció que parte del personal no contaba con ciertas certificaciones requeridas, lo que generó retrasos en las inspecciones y la documentación de los equipos.

Para medir el impacto de cada hallazgo en la Matriz de Riesgos y Oportunidades, se debe considerar su nivel de afectación en la operación, seguridad, cumplimiento normativo y satisfacción del cliente. Criterios para medir el impacto:

Alto: Puede causar fallas críticas en la operación, incumplimiento normativo o riesgos a la seguridad.

Medio: Puede afectar la efectividad operativa sin detener la producción, generando retrasos.

Bajo: Tiene poco impacto en la operación y puede resolverse con ajustes menores.

Tabla 6

Matriz de riesgos y oportunidades

Área evaluada	Hallazgo identificado	Impacto	Causa identificada	Oportunidad de mejora	Acción correctiva/preventiva
Capacitación del personal	Falta de cursos clave como Trabajos con Tensión TCT, Primeros Auxilios, SAES y MASE.	Alto	Falta de planificación en la logística de formación.	Implementar un plan de formación continua para garantizar que el personal cumpla con los requisitos.	Programar y ejecutar capacitaciones obligatorias antes del inicio de las actividades operativas.

Área evaluada	Hallazgo identificado	Impacto	Causa identificada	Oportunidad de mejora	Acción correctiva/preventiva
Cumplimiento del cronograma	Retrasos en las inspecciones y toma de parámetros de equipos debido a la falta de certificaciones del personal.	Alto	No se verificó la capacitación previa del equipo de trabajo.	Mejora en la planificación de capacitación y asignación de personal capacitado.	Incorporar verificación de certificaciones previas a la ejecución del cronograma.
Documentación de formatos	Falta de registros completos en los formatos de inspección debido a la demora en la toma de parámetros.	Medio	La falta de capacitación impidió completar correctamente los reportes de mantenimiento.	Agilizar la recolección y validación de información.	Implementar procedimientos de verificación y seguimiento en la actualización de formatos.
Gestión logística	Falta de planificación en la logística de capacitación del personal.	Alto	No se estableció un cronograma de formación alineado con los tiempos operativos.	Mejorar la planificación de capacitaciones y asegurar disponibilidad de instructores con antelación.	Establecer un cronograma de formación alineado con los tiempos del mantenimiento.

Nota. Matriz de riesgos y oportunidades.

Para mitigar estos riesgos, se toman acciones correctivas y preventivas enfocadas en la mejora de la logística, la verificación previa de certificaciones y la mejora en los procedimientos de documentación. La implementación de estas estrategias permitirá mejorar la operatividad de las intervenciones de mantenimiento, reduciendo los tiempos de respuesta y garantizando el cumplimiento de los estándares exigidos por Ecopetrol.

3.1.2 Analizar un plan de calidad, inspección y ensayo, cumpliendo con especificaciones técnicas que suministra el cliente, alineado con las normativas aplicables

3.1.2.1 Establecer oportunidades de mejora y plan de acción para los procedimientos operativos y protocolos de inspección específicos para mantenimiento. Para dar cumplimiento a esta actividad, se realizó una revisión de los procedimientos y formatos actualmente utilizados por CIAM S.A.S BIC en el marco del contrato de mantenimiento con Ecopetrol S.A., específicamente en el sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana. Dentro de los instrumentos de gestión, se identificó, en la figura 4; Formato para Reporte Historia Orden y Mantenimiento, en el cual se registran las actividades de inspección, mantenimiento preventivo y mantenimiento correctivo. Este formato constituye una herramienta fundamental para documentar las intervenciones realizadas sobre los activos físicos.

Figura 4

Formato para reporte historia orden y mantenimiento

		FORMATO PARA REPORTE HISTORIA ORDEN Y MANTENIMIENTO							Código: MEJ WP-R 037 Versión:1
Número ODM:					Número aviso				
Disciplina:					Estado:				
Equipo/ Ubicación					Duración				
Prioridad					Fecha programado				
Tipo de Mantenimiento					Fecha Ejecución				
Originador					Equipo Metrológico				
Actividad/Trabajo a realizar									
Documentos de planeación y preparación del trabajo N° Permiso de Trabajo N° Certificado Trabajo en Alturas N° Certificado Espacio Confinado N° Certificado Aislamiento SAS N° Certificado Aislamiento SAES Otros									
HORÓMETRO									
Convenciones de actividades	10	Reemplazo	50	Reacondicionamiento ("Refit")	90	Inspección	130	Cuidado básico Mantenedor	
	20	Reparación	60	Verificar Condición	100	Overhaul	140	Actualización	
	30	Modificación/cambio	70	Monitoreo	110	Diagnóstico			
	40	Ajuste/calibración	80	Prueba funcional	120	Recomendación para mitigar riesgos			
¿Cómo se encontró?									
Convención: Trabajo Realizado:									
TAG MOTOR	CORRIENTE			VOLTAJE	CALCULO CORRIENTE NOMINAL				
	L1	L2	L3		HP	WATTS	VOLTIOS	EFICIENCIA	F.P.
NOTA:									
Estado después del Trabajo									
		TRABAJO TERMINADO	SI		NO				
*** TOMAR FIRMA DE AUTORIDAD DE AREA LOCAL (AAL): RECIBIENDO A CONFORMIDAD EL TRABAJO									
		CONFORMIDAD	SI		NO				
OBSERVACIONES									
RESPONSABLE	AUTORIDAD AREA LOCAL (AAL)					SUPERVOR DE LA DISCIPLINA			
NOMBRE									
FIRMA									

Nota. La figura correspondiente a formato para reporte historia orden y mantenimiento.

Con el objetivo de fortalecer los procedimientos operativos y protocolos de inspección específicos para el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de agua potable y residual en el

Campo Cusiana, se realizó un análisis detallado del "Formato para Reporte Historia Orden y Mantenimiento" actualmente utilizado por CIAM S.A.S BIC. Este formato constituye la base documental para el registro de las actividades de inspección, mantenimiento preventivo y correctivo.

Durante la revisión, se evidenció que, si bien el formato cumple con los requisitos básicos de registro, presenta oportunidades de mejora en términos de trazabilidad de la información, nivel de detalle técnico, y sistematización de hallazgos y acciones correctivas. Estas oportunidades, de no ser abordadas, podrían afectar la calidad de la gestión del mantenimiento y limitar la capacidad de respuesta ante auditorías internas o externas, especialmente frente a las exigencias contractuales de Ecopetrol S.A y el cumplimiento de estándares de calidad basados en normas ISO 9001 e ISO 10005. Por lo anterior, se plantea un Plan de Mejora que busca:

Aumentar la trazabilidad y calidad de los registros de mantenimiento.

Estandarizar la documentación de hallazgos y acciones inmediatas.

Mejorar la verificación del estado de los activos antes y después de la intervención.

Facilitar la identificación de tendencias de fallas y oportunidades de mejora continua.

Fortalecer la evidencia documental disponible para auditorías de calidad y de cumplimiento contractual.

Tabla 7*Plan de acción de mejora propuesto*

Área de mejora	Acción correctiva/ preventiva propuesta	Responsable	Beneficio esperado
Grfxp hqwf l q# gh#Kdod jr v# Wfqlfr v	Lqf xlu#kq#f dp s r# hvs hf ilfr#ghqrp lqgr# %Kdod jr v#Wfqlfr v# Lghqwilfdgr v#h#h# ir up dw#gh#hs ru#	uhd#gh# Fddgdg# # P dqvqlp lhqw	P hnuu#d#wd deldgdg#gh# frqglflrqhv#ghv#wlqdv#h# lqvs hfflrlqh# #dfldw# dq dvl#gh#dodv
Uhjlwr#gh# Dfflrlqh# Frufvlydv	Lqfrus rdu#hffl q# ir up dos d#Dfflrlqh# Frufvlydv#lqp hglwlv# Hmf xwlgdv#h#f dp s r l	uhd#gh# Lqj hqlhu d#gh# P dqvqlp lhqw	Dvhjxudu#h#flhu#gh# kdod jr v#f u#fr v#gh#r up d# grfxp hqwg d# #s ru#qd l
Hwldgr# Rs hudvyr#gh#r v# Ht xls r v	F udu#gr v#f dp s r v# dglflrqdhv#Hwldgr# Lqlfld#gh#Ht xls r % # %Hwldgr# l qd#gh# Ht xls r %#Rs hudvyr#2Qr# rs hudvyr, l	uhd#Wfqlfd# # Fddgdg	I dfldw#h#d#dq dvl#gh# hi hf wylgdg#gh# p dqvqlp lhqw#hmf xwldgr l
Glihuhqfldu#s r v# gh#lqvs hffl q	Dj uhjd#f dp s r# ghvs dhj de ch#lqvs hffl q# gh#xvld#2Wfqlfd#2# hvs hfl do	Vxs huylv r#gh# P dqvqlp lhqw	Shup lv#f#dudw du#kqd# p hnu#s dqlilfdfl q/# hmf xfl q# #p dqvqlp lhqw l

Nota. Tabla correspondiente al Plan de acción de mejora propuesto.

El plan de acción establece medidas específicas para mejorar la verificación del estado de los activos, formalizar la gestión de hallazgos y acciones correctivas, y a su vez fomentar una mejora continua en el mantenimiento, contribuyendo directamente a garantizar la calidad, seguridad y confiabilidad de los servicios prestados.

3.1.2.2 Implementar un mecanismo de seguimiento basado en el cumplimiento de plazos establecidos y una evaluación de satisfacción al cliente para medir la efectividad del plan. Para llevar a cabo esta actividad, se utilizó el formato de registro centralizado de

actividades programadas y ejecutadas ya existente en la empresa, el cual permite documentar de manera precisa las fechas de programación y cumplimiento de los servicios de mantenimiento, así como registrar observaciones y posibles desviaciones. Este formato, presentado en la Figura 5; Formato de seguimiento de actividades de mantenimiento, está alineado con los requerimientos de calidad del cliente, Ecopetrol S.AS, facilitando el seguimiento operativo y asegurando el cumplimiento de los plazos establecidos dentro del plan de mantenimiento. Además, permite la trazabilidad de cada orden de trabajo, fortaleciendo el control del proceso y la generación de reportes periódicos que respaldan la gestión técnica ante el cliente.

Figura 5

Formato de seguimiento de actividades de mantenimiento

Semana de calendario	Orden	Descripción posición de mantenimiento	Resumen operaciones	Frecuencia	Aviso	Estado ODM	Criticidad ASP	Ubicación técnica	Equipo
2025/06	12301532	PM MTTO ESTACION BOMBEO TRAT DE AGUA	MTTO PREV SWITCHES DE NIVE	6 Meses	102390496	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198207
2025/06	12321193	Pm Mito Colector De Agua (Semanal)	Mtto Colector De Agua*Realizar aci	7 Días	102410507	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185737
2025/06	12321197	Pm Inspecci Sist. Agua Potable(Semanal)	Inspeccioni Sistema Agua Potable	7 Días	102410511	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198143
2025/06	12321202	Pm Inspecci Sist. Agua Residual(Semanal)	Inspecci Sistema Agua Residual	7 Días	102410516	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198206
2025/07	12215075	PM MTTO PLANTA AGUA POTABLE	TERMOG CUBICU PLANTA AGUA	720 Días	102303377	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198163
2025/07	12321194	Pm Mito Colector De Agua (Semanal)	Mtto Colector De Agua*Realizar aci	7 Días	102410508	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185737
2025/07	12321198	Pm Inspecci Sist. Agua Potable(Semanal)	Inspeccioni Sistema Agua Potable	7 Días	102410512	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198143
2025/07	12348480	Pm Inspecci Sist. Agua Residual(Semanal)	Inspecci Sistema Agua Residual	7 Días	102439720	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198206
2025/08	12386024	Pm Mito Colector De Agua (Semanal)	Mtto Colector De Agua*Realizar aci	7 Días	102477841	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185737
2025/08	12386034	Pm Inspecci Sist. Agua Potable(Semanal)	Inspeccioni Sistema Agua Potable	7 Días	102477851	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198143
2025/08	12386043	Pm Inspecci Sist. Agua Residual(Semanal)	Inspecci Sistema Agua Residual	7 Días	102477860	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198206
2025/09	12386025	Pm Mito Colector De Agua (Semanal)	Mtto Colector De Agua*Realizar aci	7 Días	102477842	Ejecutado CIAM	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185737
2025/09	12386042	Pm Mito Sistema Agua Potable (Semestral)	Termografía Sis Agua PotableActivi	168 Días	102477859	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198143
2025/09	12386050	Pm Mito Sistema Agua Residual(Semestral)	Termografía Sis Agua PotableTermi	168 Días	102477867	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198206
2025/10	12301355	PRUEBA IP & ESTAND MCE MOTORS AGUA POTA	PRUEBA IP & ESTANDAR MCE M	12 Meses	102390319	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-P7114	11185870
2025/10	12386026	Pm Mito Colector De Agua (Semanal)	Mtto Colector De Agua*Realizar aci	7 Días	102477843	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185737
2025/10	12386035	Pm Inspecci Sist. Agua Potable(Semanal)	Inspeccioni Sistema Agua Potable	7 Días	102477852	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198143
2025/10	12386044	Pm Inspecci Sist. Agua Residual(Semanal)	Inspecci Sistema Agua Residual	7 Días	102477861	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198206
2025/11	12385364	CUS VIB - 11 POT WATER & DIRT WATER PLA	CUS VIB - 11 POT WATER & DIRT	60 Días	102477181	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-P7114	11185870
2025/11	12320685	PM MTTO POZO CAPTACIÓN DE AGUA N. 2	MTTO PREV SWITCHES DE PRE	6 Meses	102409999	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185739
2025/11	12320686	PM MTTO POZO CAPTACIÓN DE AGUA N. 3	MTTO PREV SWITCHES DE PRE	6 Meses	102410000	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN3	11185744
2025/11	12320687	PM MTTO POZO CAPTACIÓN DE AGUA N. 4	MTTO PREV SWITCHES DE PRE	6 Meses	102410001	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN4	11185748
2025/11	12320687	PM MTTO POZO CAPTACIÓN DE AGUA N. 4	MTTO PREV VÁLVULAS DE CON	6 Meses	102410001	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN4	11185748
2025/11	12386027	Pm Mito Colector De Agua (Semanal)	Mtto Colector De Agua*Realizar aci	7 Días	102477844	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2	11185737
2025/11	12386036	Pm Inspecci Sist. Agua Potable(Semanal)	Inspeccioni Sistema Agua Potable	7 Días	102477853	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7104	11198143
2025/11	12386045	Pm Inspecci Sist. Agua Residual(Semanal)	Inspecci Sistema Agua Residual	7 Días	102477862	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUR-ESTABOM	11198206
2025/11	12386488	INSP VIS AREA 5A AGUA POTABLE	Insp. Visual Líneas y ramalesCumq	2 Años	102478305	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7106	11198190
2025/11	12386488	INSP VIS AREA 5A AGUA POTABLE	Insp. Visual Uniones mecánicas	2 Años	102478305	No Ejecutado	No Critico ASP	ECU-PCU1-STRA-AGUA-PE7106	11198190

Nota. Figura correspondiente al Formato de seguimiento de actividades de mantenimiento.

Los estándares de calidad son lineamientos técnicos, normativos y operativos que establecen los requisitos mínimos que debe cumplir un producto, servicio o proceso para garantizar su confiabilidad, seguridad, eficiencia y satisfacción del cliente. Actúan como una referencia objetiva para asegurar la uniformidad, detectar desviaciones y promover la mejora continua dentro de cualquier organización. Estos estándares no solo permiten evaluar el desempeño con criterios claros y medibles, sino que también fortalecen la confianza de los usuarios, optimizan los recursos y elevan la competitividad en el mercado. En esencia, son la columna vertebral de una gestión responsable y orientada a la excelencia.

Tal como lo afirman (Camisón, Cruz y González 2006), los estándares son parte fundamental de un sistema de gestión de calidad que busca integrar todos los elementos organizacionales hacia un enfoque de mejora estructural, asegurando que los procesos estén alineados con las expectativas del mercado y con las exigencias de los entornos competitivos modernos. Para garantizar un control efectivo del cumplimiento de los estándares de calidad, se ha diseñado el Formato de satisfacción del Cliente, mostrado en la Figura 6. Este documento será diligenciado posterior a la ejecución del mantenimiento, permitiendo recopilar datos claves sobre la percepción del cliente respecto al servicio prestado. La información obtenida servirá como insumo para la mejora continua de los procesos y aseguramiento del cumplimiento de los requisitos contractuales establecidos por Ecopetrol.

Figura 6

Formato de satisfacción del cliente

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL CLIENTE											
Esta encuesta es realizada con el fin de establecer la percepción del cliente acerca de los servicios prestados, permitiendo tomar acciones de mejora para los distintos aspectos. Agradecemos su sinceridad y objetividad.											
CLIENTE (Razón social) _____ CONTRATO / PROYECTO _____											
REPRESENTANTE DEL CLIENTE (Quien responde la encuesta)											
NOMBRE _____			CARGO _____								
FECHA _____ / _____ / _____			FIRMA _____								
CORREO ELECTRÓNICO _____											
CRITERIOS DE CALIFICACIÓN											
	Descripción					Valoración					
	Cumple los requisitos y expectativas establecidos en su totalidad					5					
	Cumple los requisitos y expectativas con oportunidades de mejora					4					
	Cumplimiento mínimo de los requisitos y expectativas establecidos					3					
	Incumplimiento de la mayoría de los requisitos establecidos					2					
	Incumplimiento total de los requisitos establecidos					1					
A continuación, para cada uno de los aspectos, marque su calificación donde 1 es Malo y 5 Excelente.											
No.	ASPECTO					CALIFICACIÓN					
COMERCIAL	1	¿Los presupuestos presentados cumplen con los requerimientos de su solicitud?					1	2	3	4	5
	2	¿La relación calidad/precio de los presupuestos presentados, están acorde a lo					1	2	3	4	5
	3	¿Cuál es su percepción respecto al tiempo de respuesta y/o entrega de cotizaciones solicitadas?					1	2	3	4	5
ASPECTOS TÉCNICOS	4	¿Considera que la ejecución de las obras se realizaron dentro de los tiempos establecidos en los Planes de Trabajo?					1	2	3	4	5
	5	¿Cómo califica la entrega de requisitos documentales?					1	2	3	4	5
	6	¿El Producto/Servicio prestado, cumple con las especificaciones técnicas contractuales?					1	2	3	4	5
	7	¿Cómo califica la disponibilidad de bienes y servicios utilizados durante la ejecución de la obra?					1	2	3	4	5
CALIDAD	8	¿Cuál es su calificación para la presentación y cumplimiento del plan de calidad del proyecto?					1	2	3	4	5
	9	¿Cuál es su percepción frente a la competencia y desempeño del personal asignado al proyecto?					1	2	3	4	5
	10	¿Cómo califica la calidad de los materiales utilizados en las obras?					1	2	3	4	5
SST	11	¿Cuál es su nivel de satisfacción respecto al cumplimiento de políticas y estándares de seguridad y salud en el trabajo establecidos?					1	2	3	4	5
	12	¿Cómo percibe el aseguramiento para la prevención de accidentalidad en el trabajo durante el servicio prestado?					1	2	3	4	5
AMBIENTE	13	¿Cómo percibe el manejo y consumo de recursos ambientales dentro de las actividades ejecutadas en el contrato?					1	2	3	4	5
	14	¿Cómo percibe el manejo y disposición de residuos generados durante el servicio prestado?					1	2	3	4	5
	15	¿Cómo califica la prevención, atención y recuperación de los impactos ambientales durante el servicio brindado?					1	2	3	4	5
ATENCIÓN AL CLIENTE	16	¿Cómo califica la comunicación Cliente/Contratista y la entrega oportuna de información?					1	2	3	4	5
	17	¿Cómo califica la atención que da la empresa a las IPQRS (Inquietudes, Peticiones, Quejas, Reclamos y Sugerencias)?					1	2	3	4	5
	18	¿Cómo califica la atención al cliente brindado por parte del personal en obra y oficina?					1	2	3	4	5
	19	Califique su grado de satisfacción general					1	2	3	4	5
TOTAL (Sumatoria total) CALIFICACIÓN OBTENIDA (Sumatoria total / No. de ítems)											
Observaciones y/o Sugerencias del Cliente											
Aspectos destacados y/o que se deben mejorar											
Gracias por su tiempo Nombre y firma del encuestador _____											

Nota. Formato de satisfacción del cliente. Fuente: Elaboración propia.

3.1.2.3 Establecer un sistema de gestión que garantice el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad, alineados al PDT del proyecto. Como parte del cumplimiento de la actividad relacionada con el establecimiento de un sistema de gestión alineado al Plan Detallado de Trabajo (PDT), se adoptó el enfoque metodológico del ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar), el cual permite estructurar las acciones de mantenimiento bajo principios de mejora continua, calidad operativa y seguridad técnica.

El ciclo es una herramienta fundamental dentro de los sistemas de gestión de calidad, utilizada para establecer una metodología de mejora continua en los procesos organizacionales. Este ciclo permite estructurar el trabajo en etapas claras, orientadas a planificar lo que se desea lograr, ejecutar las acciones previstas, verificar los resultados obtenidos y actuar para corregir desviaciones o fortalecer los aciertos.

Este modelo, propuesto inicialmente por Walter A. Shewhart y desarrollado por W. Edwards Deming y nombrado el ciclo Deming por los japoneses en 1950, se aplica en diversas industrias como una base sólida para el control de procesos y la optimización del desempeño. (Isniah, 2020). En la Figura 7; Esquema del ciclo PHVA aplicado al sistema de gestión del plan de calidad, se menciona cada etapa donde se fortalece el control integral del proceso:

Planear: Se establecen los criterios, responsabilidades, formatos e indicadores necesarios para asegurar que las actividades de mantenimiento cumplan con las especificaciones técnicas y los requisitos de seguridad definidos por Ecopetrol. Para esto se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

Asegurar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos del sistema de tratamiento.

Elaboración del cronograma de actividades de mantenimiento (preventivo, correctivo, predictivo e inspección).

Identificación de recursos técnicos, humanos y materiales requeridos.

Establecer los roles dentro del equipo (técnico mecánico, eléctrico, instrumentista, supervisor HSE).

Considerar fallas críticas, accesibilidad a repuestos, condiciones operativas, clima, entorno.

Tiempo de respuesta, cumplimiento del cronograma, número de reincidencias, conformidad del cliente.

Hacer: Se ejecutan las actividades siguiendo los procedimientos operativos normalizados y se registran evidencias en los formatos correspondientes. Para esto se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

Ejecución de mantenimiento preventivo, correctivo, predictivo e inspección técnica de bombas, tableros, válvulas, sensores y tanques.

Paradas controladas para intervenir equipos críticos como electrobombas de agua potable, bombas del sistema de agua cruda y cloradores.

Uso de los formatos establecidos para registrar el desarrollo de actividades y hallazgos.

Cumplimiento de protocolos HSE (certificación en alturas, TCT, permisos de trabajo, aislamiento seguro).

Captura de evidencias fotográficas y anotación de observaciones en sitio.

Verificar: Se evalúa el grado de cumplimiento de los plazos, la calidad del trabajo realizado y se analiza la retroalimentación del cliente mediante instrumentos previamente definidos. Para esto se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

Comparación entre lo planeado y lo ejecutado (actividades cumplidas vs. cronograma).

Revisión del cumplimiento de requisitos contractuales y especificaciones técnicas del cliente.

Verificación de documentación de soporte (formatos diligenciados, evidencia fotográfica, firma de la autoridad de área local de Ecopetrol S.A).

Cumplimiento de plazos, número de equipos intervenidos, reincidencias, hallazgos reportados.

Revisión de hallazgos críticos o desviaciones presentadas durante las actividades.

Actuar: Se implementan acciones correctivas o preventivas que permitan ajustar desviaciones, fortalecer la gestión del riesgo y elevar los niveles de confiabilidad del sistema.

Para esto se tiene en cuenta los siguientes aspectos:

Implementación de acciones correctivas y preventivas derivadas de hallazgos o no conformidades.

Actualización de formatos o procedimientos para que reflejen mejoras detectadas en campo.

Retroalimentación al personal operativo sobre errores recurrentes o recomendaciones técnicas.

Consolidación de reportes de gestión para futuras auditorías y seguimiento por parte del cliente (Ecopetrol).

Figura 7

Esquema del ciclo PHVA



Nota. La figura correspondiente a ciclo PHVA aplicado al sistema de gestión del plan de calidad.

Este enfoque permite no solo garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad exigidos por Ecopetrol, sino también consolidar un sistema trazable, evaluable y enfocado en la excelencia del servicio técnico prestado por CIAM S.A.S BIC.

Como resultado de la implementación del ciclo PHVA, también se logró estructurar un sistema de gestión de los mantenimientos ejecutados, garantizando la trazabilidad de las

actividades y dando el cumplimiento de los mantenimientos programados, identificando desviaciones logísticas y la aplicación de acciones correctivas oportunas.

Asimismo, la adopción de esta estrategia permitió evidenciar oportunidades de mejora en los procesos, facilitando la toma de decisiones informadas con base en información técnica documentada, reforzando también el compromiso con la mejora continua y fortaleciendo la confiabilidad de los activos bajo una gestión sistemática y alineada con los requerimientos establecidos por el cliente.

3.1.3 Verificar la implementación y control del plan de calidad, inspección y ensayo

3.1.3.1 Coordinar la ejecución de las actividades de mantenimiento conforme a los lineamientos definidos. Para garantizar la correcta implementación del plan de calidad, inspección y ensayo en los sistemas de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana, es fundamental establecer una coordinación efectiva de las actividades de mantenimiento. Esta coordinación permite alinear la ejecución con los lineamientos establecidos por CIAM S.A.S BIC y los estándares técnicos y contractuales exigidos por Ecopetrol S.A. Una planificación clara y estructurada facilita no solo el cumplimiento de los cronogramas, sino también la trazabilidad, la responsabilidad y la verificación efectiva del servicio prestado.

A continuación, se presenta la Tabla 8; Planificación operativa para la coordinación de actividades de mantenimiento, en la cual se identifican los aspectos clave que rigen la ejecución de esta actividad, facilitando su trazabilidad y control técnico.

Tabla 8*Planificación operativa*

Componente técnico	Descripción
Objetivo	Asegurar que las actividades de mantenimiento se ejecuten de manera efectiva, conforme a los lineamientos técnicos, contractuales y de calidad definidos.
Alcance	Actividades de mantenimiento mecánico, eléctrico e instrumental del sistema de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana.
Responsables	• Sur i h v r q d o # d s r r # h q # f d p s r # # g r f x p h q w d f l q, # • O g h u # g h p d q w h l p l h q w • V x s h u y l v r u h # g h # g l v f l s d q d • # S h u r q d o w f q l f r # f h u i l f d g r
Herramientas y formatos	• I r u p d w # P H M Z S O U # 3 6 : # K l w u l d # g h # u g h q # # p d q w h l p l h q w, • F u r q r j u d p # g h # p d q w h l p l h q w • S u r f h g l p l h q w v # q r u p d d d g r v # g h o f d h q v h
Frecuencia	Coordinación y revisión diaria o según la frecuencia del mantenimiento programado (semanal, mensual o por condición).
Estrategia de control	• Y h u l i l f d f l q # h q # m v r # g h # h m f x f l q # v f q l f d • I l u p d # g h # f r q i r u p l g d g # g h o D D O # D x w u l g d g # g h # u h d # O r f d q • U h j l w r # r w j u i l f r # # g r f x p h q w d o
Indicadores de seguimiento	• S r u f h q w h # g h # u g h q h v # g h p d q w h l p l h q w # h m f x w g d v # h j q # f u r q r j u d p d • Q x p h u r # g h # q r # f r q i r u p l g d g h v # g h w f w g d v • W h p s r # p h g l r # g h # h m f x f l q # u h q w # d o h w l p d g r

Nota. Tabla correspondiente a la Planificación operativa para la coordinación de actividades de mantenimiento.

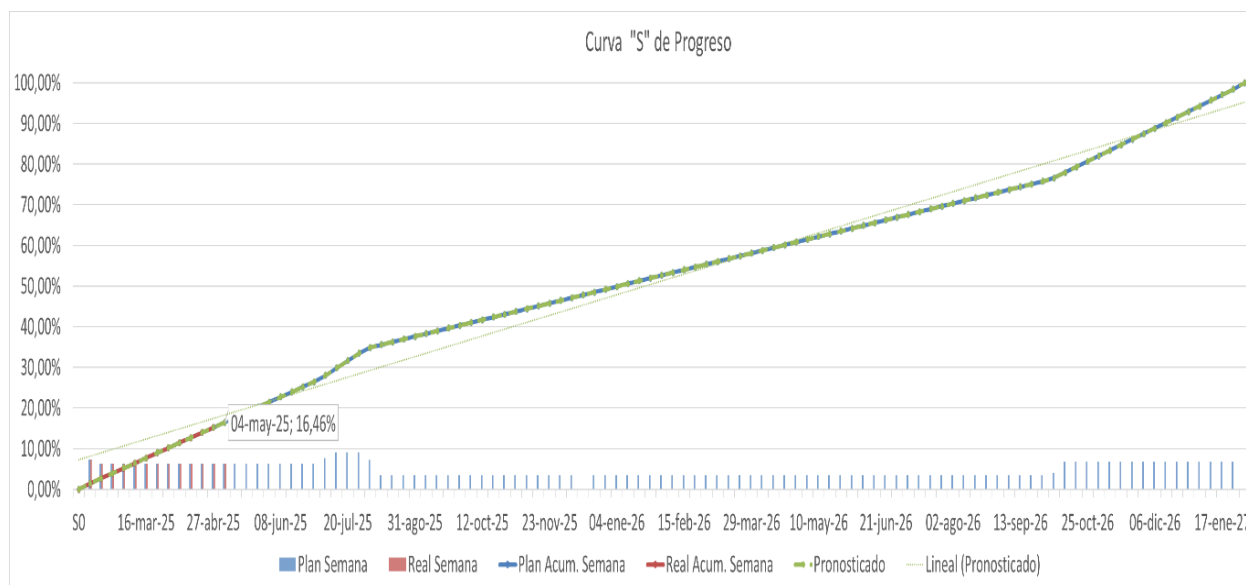
La planificación presentada permite estandarizar la coordinación de las actividades de mantenimiento, asegurando que cada fase operativa esté alineada con los objetivos de calidad, seguridad del proyecto. La definición clara de responsabilidades y herramientas, junto con los métodos de control, favorece una ejecución ordenada, verificable y orientada a resultados. Esta

estructura se convierte en un instrumento esencial para el cumplimiento del plan de calidad del proyecto Campo Cusiana.

3.1.3.2 Monitorear y evaluar el desempeño de las inspecciones y ensayos realizados.

Para dar cumplimiento a esta actividad, se tomó como evidencia el formato de informe semanal, (Ecopetrol, 2025) correspondiente a la semana 18 del contrato, donde se consolidan los avances, ejecución de actividades de mantenimiento, programación, y documentación visual. Este informe permite hacer un seguimiento técnico y administrativo a los mantenimientos ejecutados, apoyando la evaluación continua del desempeño del plan.

Ahora, en la figura 8 se puede ver una gráfica, esta compara lo que se ejecutó con lo que se había programado durante la semana, de modo que este gráfico sirve para ver qué tanto se cumplió con las actividades que estaban en el cronograma, y también para darse cuenta si hubo algún atraso o si algo no se hizo como tocaba. Esta comparación es clave para evaluar la efectividad operativa del mantenimiento y tomar decisiones correctivas cuando se evidencian brechas.

Figura 8*Comparativo de ejecución vs programación*

Nota. Figura correspondiente a comparativo de ejecución vs programación, asociado a la semana 18 del proyecto. Fuente: Ecopetrol S.A y ejecutado por CIAM S.A.S BIC.

En la gráfica presentada se evidencian distintos elementos clave para el análisis.

Plan Semana (barras azules): muestra el avance programado para cada semana.

Real Semana (barras rojas): representa lo ejecutado realmente en cada semana.

Plan Acumulado (línea azul): refleja el avance planificado acumulado hasta la fecha.

Real Acumulado (línea roja): indica el avance real acumulado semana a semana.

Pronosticado (línea verde): estima el comportamiento futuro si se mantiene el ritmo actual.

Línea de tendencia (verde punteado): sirve como referencia para visualizar la proyección global del cumplimiento.

Se incluye un bloque, figura 9; resumen progreso del contrato donde se reporta el porcentaje global de avance acumulado del contrato, tanto a nivel físico como administrativo. Este indicador refleja la alineación entre lo planificado y lo realizado, siendo fundamental para medir la efectividad y continuidad del plan de mantenimiento.

El resumen general del estado de avance del proyecto correspondiente a la semana 18 de 2025, en el cual se consolida el porcentaje de ejecución tanto planificado como real, discriminado por actividad o paquete de trabajo. En la tabla se detallan las tres actividades principales que componen el alcance del contrato:

Porcentaje de avance acumulado del contrato: 45,84% (ver tabla adjunta)

Su h e d g h e r p e h r # f d x g d o f r q w d w # 7 / 8 9 (, 1

Se observa que todas las actividades presentan un avance acumulado del 100% (100%) exactamente igual al valor planificado, lo que indica que el proyecto mantiene un ritmo de ejecución óptimo, sin desviaciones al cierre de la semana evaluada.

Figura 9

Resumen progreso del contrato

ACTIVIDAD / PAQUETE	Peso % Relativo	Fecha Comienzo Planeado	Fecha Fin Planeado	Fecha Fin Real o Pronóstico	PLAN	REAL		DIFERENCIAS
					% Plan Acumulado semana Actual	% Real Semana Actual	% Real Acumulado semana Actual	% Diferencia Acumulada
SERVICIO DE MANTENIMIENTO MECÁNICO DE BOMBAS, ELÉCTRICO Y DE INSTRUMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y RESIDUAL DEL CAMPO CUSIANA PERTENECIENTE A LA VICEPRESIDENCIA DE OPERACIÓN DE DESARROLLO Y PRODUCCIÓN PIEDEMONTE DE ECOPETROL S.A.	100,0%	01/02/2025	01/02/2027	01/02/2027	16,46%	16,46%	16,46%	0,00%
SERVICIO DE MANTENIMIENTO	82,93%	01/02/2025	01/02/2027	01/02/2027	8,98%	8,98%	8,98%	0,00%
MANTENIMIENTO GENERAL DE POZO PROFUNDO	12,51%	01/02/2025	31/07/2025	31/07/2025	5,49%	5,49%	5,49%	0,00%
PRUEBA DE BOMBEO A CAUDAL CONSTANTE	4,56%	01/02/2025	31/07/2025	31/07/2025	2,00%	2,00%	2,00%	0,00%
					16,46%	16,46%	16,46%	0,00%

Nota. La figura correspondiente a resumen progreso del contrato, asociado a la semana 18 del proyecto, tomada del Ecopetrol S.A y ejecutado por CIAM S.A.S BIC.

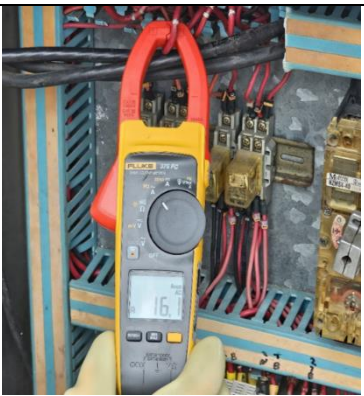
Este resumen permite verificar la consistencia entre la planificación y la ejecución, facilitando la toma de decisiones correctivas en caso de desviaciones futuras. Además, fortalece el control del cumplimiento del Plan de Calidad, Inspección y Ensayo y asegura la trazabilidad de los avances según los estándares exigidos por Ecopetrol S.A.

El documento incorpora un registro fotográfico, mostrado en la tabla 9; Registro fotográfico del mantenimiento realizado, que respalda de manera visual y verificable la ejecución de las actividades de mantenimiento realizadas. Esta evidencia constituye un elemento clave

dentro del sistema de trazabilidad, ya que permite validar el cumplimiento de los trabajos conforme a los procedimientos operativos, protocolos de inspección y lineamientos definidos por el plan de calidad. Además, facilita el control documental y aporta rigor técnico a los informes entregables, fortaleciendo la transparencia y la confiabilidad ante el cliente.

Figura 10

Registro fotográfico del mantenimiento realizado

	
Fecha: Semana 18 año 2025 Ubicación: CPF CUS Descripción: Aseguramiento HSE	Fecha: Semana 18 año 2025 Ubicación: PTAP - CPF CUS Descripción: Inspección, acompañamiento pruebas funcionales y operativas sistema tratamiento de agua
	
Fecha: Semana 18 año 2025 Ubicación: PTAR - CPF CUSIANA Descripción: Inspección, acompañamiento pruebas funcionales y operativas sistema tratamiento de agua	Fecha: Semana 18 año 2025 Ubicación: Pozos colectores de agua 2, 3 y 4 Descripción: Inspección, acompañamiento pruebas funcionales y operativas sistema pozos colectores de agua

Nota: figura correspondiente a registro fotográfico del mantenimiento realizado, correspondiente a la semana 18.

De acuerdo con lo señalado en el seguimiento operativo que se hace para vigilar los trabajos de mantenimiento en el sistema de tratamiento de agua del Campo Cusiana, se evidencio que era necesario agregar algo a los reportes de cada semana, concretamente un control para los mantenimientos que quedaban pendientes en los STA o Sistemas de Tratamiento de Agua, por ello se utiliza un formato extra con el que se puede anotar y hacer un seguimiento detallado de esas tareas que no se alcanzaron a hacer en el tiempo establecido, ya fuera por cosas de la operación, de logística o por algún problema técnico.

A causa de esto, el registro de los mantenimientos pendientes, que se puede ver en la Figura 1, Mantenimientos pendientes en los STA 2025, ayuda mucho a manejar el plan de calidad, puesto que con esto se le da prioridad a las acciones para corregir y prevenir problemas, y así se evita que se amontonen trabajos importantes y se va cumpliendo poco a poco con las metas del contrato, de tal manera que al juntar esta información con el informe semanal, se hace más sencillo tomar decisiones al momento, y con esto se tiene un control más fuerte de la operación y bajan los riesgos de que algo falle por trabajos que se dejaron de hacer.

Figura 11*Mantenimientos pendientes en los STA 2025*

MANTENIMIENTOS PENDIENTES EN LOS STA 2025						
ITEM	UBICACIÓN	TIPO DE MANTENIMIENTO	DESCRIPCION	ESTATUS	TXT	MATERIAL
1	POZO 2	CORRECTIVO	Instalación de puesta a tierra en cabeza de pozo	Abierto		Cable #2 encauchado color verde 20ml.
2		PREVENTIVO	Limpieza general a tablero de control y potencia	Cerrado	Limpieza realizada día 20 y 27-Mar	
3	POZO 3	PREVENTIVO	Limpieza general a tablero de control y potencia	Cerrado	Limpieza realizada día 20 y 27-Mar	
4		PREVENTIVO	Limpieza general a tablero de control y potencia	Cerrado	Limpieza realizada día 20 y 27-Mar	
5	POZO 4	CORRECTIVO	Aseguramiento de luminarias perimetrales	Abierto		Chazo 1/4"x tornillo x 12c
6		CORRECTIVO	Reemplazo de chapa de presión en tablero de control y potencia	Abierto		PTE REF.
7	PTAP	CORRECTIVO	Reemplazo de selectores de tres posiciones en tablero de control.	Abierto	Tablero CP-7115A: 12 selectores de tres pos (MAN 0 AUTO)	12 Selector de muletilla EBCHQ 19300
8		CORRECTIVO	reemplazo de bombillos piloto en tablero de control.	Abierto	Tablero CP-7115A: 12 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 12 luz piloto redonda verde Ø XXmm MOTORREDUCTOR	12 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 12 luz piloto redonda verde Ø XXmm
9		CORRECTIVO	Reemplazo de manómetros en glicerina	Abierto	17 manometro 0 - 100 en todo el sistema TRANSFERENCIA FILTRACION	17 manometro 0-100PSI
10		CORRECTIVO	Reemplazo de 2 cheques verticales en sistema de filtración	Cerrado	Cerrado 29-abr (Desmontaje e instalación de 2und cheque 1 1/2" sistema descarga electrobomba M-71108B de el sistema filtración)	2 CHEQUE 1 1/2" X 150PSI
11	SISTEMA DE AGUA CRUDA	CORRECTIVO	Reemplazo de selectores de tres posiciones en tablero de control.	Abierto	tablero CP-7115B 3 selectores P-71140/E y LNB LNA	3 Selector de muletilla EBCHQ 19300
12		CORRECTIVO	reemplazo de bombillos piloto en tablero de control.	Abierto	tablero CP-7115B 3 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 3 luz piloto redonda verde Ø 22mm P-71140/E y LNB LNA	3 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 3 luz piloto redonda verde Ø XXmm
13		CORRECTIVO	Reemplazo de contactores en tablero de control	Abierto	tablero CP-7115B 2 contactor P-71140/E	2 Contactor industrial con bobina AC NC1-12, 20A
14		CORRECTIVO	Reemplazo de presostatos	Abierto	2 presostato P-71140/E	2 Presostato SW-KP135 Switch pres. altimira 3-119PSI Conex.Hemb.
15		CORRECTIVO	Instalación de 2 cheques horizontales en sistema de succión	Abierto	cheque 2" x 150 propone vertical	2 cheque 2" x 150
16		CORRECTIVO	Reemplazo de terminales en tablero de control	Abierto	100und terminal de canalillo#10, #12 100und Terminal de ojo #10, #12 100und terminal uña #10, #12	100und c/u terminal de canalillo#10, #12 100und c/u Terminal de ojo #10, #12 100und c/u Terminal de uña #10, #12
17	SISTEMA HIDRONEUMÁTICO DE AGUA POTABLE	PREVENTIVO	Revisión general a sistema de instrumentación	Abierto	3 presostatos	3 Presostato SW-KP135 Switch pres. altimira 3-119PSI Conex.Hemb
18		CORRECTIVO	reemplazo de bombillos piloto en tablero de control.	Abierto	Tablero PE-7106: 4 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 3 luz piloto redonda verde Ø XXmm	4 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 4 luz piloto redonda verde Ø XXmm
19		CORRECTIVO	Reemplazo de manómetros en glicerina	Abierto	tiene 5 manómetros - mismo alcance (11)	5 manometro 0-100PSI
20		CORRECTIVO	Reemplazo de riñón en los maa	Abierto		PTE REF.
21	SISTEMA DE AGUA INDUSTRIAL	CORRECTIVO	Mantenimiento general a la instrumentación	Abierto		-
22		CORRECTIVO	Reemplazo de 3 cheques horizontales en sistema de succión	Abierto		3 cheque 2" x 150
23		CORRECTIVO	Reemplazo de selectores de tres posiciones en tablero de control.	Abierto	Tablero DP-7106B 3 selectores de tres pos (MAN 0 AUTO) M-7114F/G	3 Selector de muletilla EBCHQ 19300
24		CORRECTIVO	Reemplazo de contactores en tablero de control	Abierto	Tablero DP-7106B 2 contactor M-7114F/G	2 Contactor industrial con bobina AC NC1-12, 20A
25		CORRECTIVO	reemplazo de rele monitor en tablero de control	Abierto		REF.
25.1		CORRECTIVO	Desmontaje e instalación de cheque filtro tipo "Y" Ø2"	Cerrado	Ejecutado 23-abr-2025 Desmontaje e Instalación de cheque tipo "Y" 2" - TK-agua industrial	1und cheque filtro tipo "Y" 2"
26	POZO COLECTOR (PTAR)	CORRECTIVO	Reemplazo de 2 flotadores eléctricos	Cerrado	Ejecutado 05-Abril-2025 Material suministrado tecnico ambiental*	2 FLOTADOR-ALIT7 serie: flo ambiental*
27		CORRECTIVO	Reemplazo de contactores en tablero de control	Abierto	Tablero CP-7105 2 contactores	2 Contactor industrial con bobina AC NC1-12, 20A
28		CORRECTIVO	reemplazo de bombillos piloto en tablero de control.	Abierto	Tablero PE-7106: 2 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 3 luz piloto redonda verde Ø XXmm P-7105A/B	2 luz piloto redonda rojo Ø XXmm 3 luz piloto redonda verde Ø XXmm
29		CORRECTIVO	Reemplazo de selectores de tres posiciones en tablero de control.	Abierto	Tablero DP-7106 3 selectores de tres pos (MAN 0 AUTO) P-7105A/B	3 Selector de muletilla EBCHQ 19300
30		CORRECTIVO	Reemplazo de terminales en tablero de control	Abierto	Tablero DP-7106 terminales***	

Nota. La figura correspondiente a mantenimientos pendientes en los STA (sistemas de tratamiento de agua).

3.1.3.3 Generar informes de gestión que respalden la toma de decisiones y aseguren la mejora continua. En relación con la realización de los informes de gestión, esta es una parte muy importante del ciclo de mantenimiento, ya que con esto se agrupa toda la información técnica que sale de los trabajos hechos, y también se observa si se están cumpliendo las normas, aportando datos útiles para tomar decisiones de peso, por esto, en este proyecto que se enfoca en mantener los sistemas que tratan el agua potable y usada del Campo Cusiana, dichos informes son muy necesarios para poder seguirle el rastro a los procesos, para que todo sea claro y para ir mejorando siempre como lo solicita Ecopetrol S.A.

Con el fin de asegurar el seguimiento, el orden y el control de los trabajos de mantenimiento que se hicieron en el sitio, se usó el formato que se ve en la figura 11, Formato para reporte historia orden y mantenimiento MEJ WP-R 037, que es el formato oficial para anotar todas las ordenes de mantenimiento, y este formato que está hecho para registrar mantenimientos que previenen daños y también los que los corrigen, sirve para dejar por escrito datos bien importantes, como qué tipo de trabajo se hizo, a qué equipo se le realizó la intervención., las mediciones eléctricas que se revisaron, las notas técnicas y el visto bueno de la persona encargada en el área.

De este modo, y siguiendo el plan de trabajo, ese formato se alimentó para el mantenimiento preventivo que se les hizo a los Pozos 2, 3 y 4 del sistema de tratamiento de agua cruda, un trabajo de mucha importancia para que no se detuviera el suministro de agua en el Campo Cusiana, de ahí que en los documentos se anotó cómo estaban los equipos antes y

después del trabajo, y también la revisión de las mediciones eléctricas clave para ver si estaban funcionando como se debe.

Figura 12

Formato para reporte historia orden y mantenimiento. MEJ WP-R 037

		FORMATO PARA REPORTE HISTORIA ORDEN Y MANTENIMIENTO				Código: MEJ WP-R 037 Versión: 1						
NÚMERO ODM:		12442589		NÚMERO AMSO:		102536155						
PTO. TRAB. RESP. (Disciplina):		DPTACUS		ESTADO:		TERMINADO						
EQUIPO / UBICACIÓN TÉC:		ECU-PCU1-STRA-AGCR-PAN2		DURACIÓN:		4 HORAS						
PRIORIDAD:		202517		FECHA PROGRAMADO:		21/04/2025						
TIPO DE MANTENIMIENTO:		PREVENTIVO		FECHA EJECUCIÓN:		24/04/2025						
ORIGINADOR:		MANTENIMIENTO ELÉCTRICO		EQUIPO METROLÓGICO:		FLUKE-376-FC SN:66432334MV						
TRABAJO A REALIZAR		Mantenimiento preventivo semanal a sistema de pozo profundo de suministro de agua PA-N2, PA-N3, PA-N4										
Documentos de planeación y preparación del trabajo		N° Permiso de Trabajo 10938		N° Certificado Trabajo en Alturas		N° Certificado Espacio Confinado						
		N° Certificado Aslamiento SAS		N° Certificado Aslamiento SAES		Otros						
HORÓMETRO												
Convenciones de actividades		10	Reemplazo	50	Reacondicionamiento ("Refit")	90	Inspección	130	Cuidado básico Mantenedor			
		20	Reparación	60	Verificar Condición	100	Overhaul	140	Actualización			
		30	Modificación/cambio	70	Monitoreo	110	Diagnóstico					
		40	Ajuste/calibración	80	Prueba funcional	120	Recomendación para mitigar riesgos					
¿Cómo se encontró?		Pozo profundo de suministro de agua PA-N2, PA-N3, PA-N4 operativos										
Convención: Trabajo Realizado:												
[90] Apertura e inspección visual del tablero de fuerza y control pozos PA-N2, PA-N3, PA-N4 No se detectan puntos de conexión con sulfatación, oxidación ni signos de sobrecalentamiento los componentes eléctricos y las conexiones se encuentran en buen estado físico y operativo												
[80] Se realiza la verificación del sistema de iluminación interior y exterior, el sistema se encuentra funcional y operando correctamente												
[90] Inspección visual de batería: No existen sulfataciones en los bornes de interconexión de la batería, no presenta contactos sueltos, ni sobrecalentamientos												
[80] Acompañamiento a prueba operacional y funcional a motores bomba pozo PA-N2, PA-N3, PA-N4												
toma de datos operativos de motores sumergible tipo lapicero marca franklin electric: Se mide la intensidad de corriente en cada fase para identificar desequilibrios o sobrecargas, voltaje suministrado se mantiene dentro del valor nominal, desviaciones fuera de este rango pueden causar sobrecalentamiento, pérdida de eficiencia o fallas												
TAG	CORRIENTE			VOLTAJE	CÁLCULO CORRIENTE NOMINAL							
	L1	L2	L3		HP	WATTS	VOLTIOS	η = Eficiencia	F.P	NOMINAL		
PA-N2	39.5	39.0	39.1	217.0	15	11186	230	0.80	0.85	41.29		
PA-N3	49.0	47.5	48.8	208.0	20	14914	230	0.85	0.88	50.05		
PA-N4	48.5	47.5	46.6	420.0	50	37285	460	0.90	0.90	57.78		
Estado después del Trabajo				Pozo profundo de suministro de agua PA-N2, PA-N3, PA-N4 operativos								
TRABAJO TERMINADO				SI	X	NO						
*** TOMAR FIRMA DE AUTORIDAD DE ÁREA LOCAL (AAL) RECIBIENDO A CONFORMIDAD EL TRABAJO												
CONFORMIDAD				SI	X	NO						
OBSERVACIONES				Se adjunta registro fotografico								
RESPONSABLE				AUTORIDAD AREA LOCAL (AAL)					SUPERVISOR DE LA DISCIPLINA			
NOMBRE									FERLYN WEIMAR DIAZ ROJAS			
FIRMA												

Nota. Figura correspondiente a Formato para reporte historia orden y mantenimiento, asociado a orden de mantenimiento número: 12442589.

Las corrientes medidas en los motores de los pozos PA-N2, PA-N3 y PA-N4 se mantuvieron por debajo de sus valores nominales, lo cual indica una operación eficiente, sin presencia de sobrecargas ni desequilibrios trifásicos. No se detectaron signos de sulfatación, oxidación o puntos de sobrecalentamiento en tableros, contactos ni bancos de baterías, lo que refleja un adecuado estado físico y funcional de las conexiones y equipos eléctricos inspeccionados. La intervención cumplió con los criterios establecidos en el plan de mantenimiento, documentándose de forma técnica y con registro fotográfico, lo cual garantiza la trazabilidad y evidencia objetiva del servicio realizado.

En cuanto al mantenimiento predictivo, este es una forma de trabajar más adelantada dentro de la gestión del mantenimiento, ya que la idea principal es adelantarse a los daños por medio de la vigilancia y el análisis de datos importantes sobre cómo funcionan los equipos, de modo que esta manera de hacer las cosas no solo sirve para meterle mano a algo antes de que se dañe, sino que también ayuda a usar mejor los recursos, a que haya menos paradas no planeadas y a que los sistemas estén disponibles por más tiempo.

Por otro lado, y a diferencia del mantenimiento que se hace para prevenir, esta forma de predecir los daños se apoya en el estudio con mucho detalle de las señales de una falla usando aparatos especiales para eso, de ahí que entre los más importantes están el análisis de las vibraciones, la termografía con infrarrojo, el análisis de los aceites que se están usando, y pruebas que no dañan los equipos como las de partículas magnéticas, líquidos que penetran, ultrasonido o rayos X, como también otros modos de diagnóstico técnico que dan una idea clara de cómo están funcionando de verdad los equipos (Montilla Montaña, C. A. 2016).

Conforme a lo señalado, mientras se hacían los trabajos del plan de mantenimiento en los sistemas de tratamiento de agua potable y usada del Campo Cusiana, se usaron técnicas para predecir daños como el análisis de vibraciones y la termografía, con el fin de encontrar problemas que apenas estaban empezando en partes muy importantes como las bombas, los motores eléctricos y los tableros de control, por lo cual estos trabajos fueron de mucha ayuda para adelantarse a los arreglos y para dejar anotado técnicamente cómo estaban de verdad los equipos, cumpliendo así con lo que pedía en el contrato Ecopetrol S.A.

Por tanto, usar el mantenimiento predictivo no solo hace que la operación sea más de fiar, sino que también va de la mano con la idea de mejorar siempre y de manejar los riesgos antes de que aparezcan, siendo estas unas bases muy importantes de este plan de trabajo.

Como parte de la implementación del mantenimiento predictivo en los sistemas de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana, se establecieron rutas específicas para la toma de datos mediante análisis de vibraciones y termografía infrarroja. Estas rutas fueron definidas con base en la criticidad de los equipos, su ubicación en el sistema y la frecuencia operativa, garantizando una cobertura técnica eficiente sobre los activos más sensibles y de mayor impacto operativo. En la figura 12; Ruta de Monitoreo de Vibraciones y la figura 13; Ruta de Inspección Termográfica, se refleja la planificación y cobertura del mantenimiento predictivo.

Figura 13*Ruta de monitoreo de vibraciones*

EQUIPO	DENOMINACION	UBICACIÓN TECNICA
11198163	M-7109A	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198166	M-7109B	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198169	M-7110A	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198172	M-7110B	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198176	M-7114A	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198179	M-7114B	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198182	M-7114C	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198186	M-7114D	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198189	M-7114E	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198128	M-7114F	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198131	M-7114G	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114

Nota. Figura correspondiente a ruta de monitoreo de vibraciones a equipos rotativos contemplados. Fuente: Ingesertec- Ingeniería y Servicios Técnicos S.A.

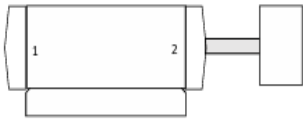
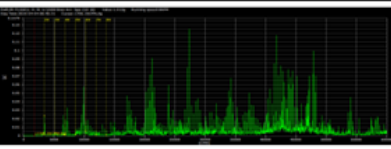
Figura 14*Ruta de inspección termográfica*

EQUIPO	DENOMINACION	UBICACIÓN TECNICA
11198163	M-7109A	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198166	M-7109B	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198169	M-7110A	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198172	M-7110B	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104
11198176	M-7114A	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198179	M-7114B	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198182	M-7114C	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198186	M-7114D	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198189	M-7114E	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198128	M-7114F	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
11198131	M-7114G	ECU-PCU1STRA-AGUAP7114
	M-7015A	
	M-7015B	

Nota. Figura correspondiente a ruta de inspección termográfica a los tableros eléctricos de los equipos establecidos. Tomado de Ingesertec- Ingeniería y Servicios Técnicos S.A.

Figura 15

Análisis de vibraciones equipos rotativos

	Ingeniería y servicios técnicos INGESERTEC S.A Nit 830042394 - 8		FO-TZ-042 VERSIÓN: 1 VIGENCIA: 10-02-2025		
	INFORME ANALISIS DE VIBRACIONES FFT EQUIPOS ROTATIVOS				
DENOMINACION:	M-7110A	UBICACIÓN TÉCNICA	ECU-PCU1STRA-AGUAPE7104		
EQUIPO:	11198169	TIPO DE EQUIPO	BOMBA CENTRIFUGA		
DETALLE INFORME:	ruta de vibraciones	CONTRATO	-	CLIENTE CIAM	
FECHA DE MONITOREO:	4/04/2025	Consecutivo Informe	3	ESTADO DE CARGA -	
PT	OT	CONDICIÓN ACTIVO		SEGUIMIENTO	
DATOS EQUIPO MONITOREO Fabricante: ROND, Modelo: RH 802 , Serie: E001.					
DIAGRAMA PUNTOS MONITOREO					
					
CRITERIO DE ACEPTACION: NORMA ISO 10816					
GRUPO MAQUINA	ZONA A	ZONA B	ZONA C	ZONA D	
GRUPO 2	MAQUINAS NUEVAS	OPERACION CONTINUA SEGURA	OPERACION POR TIEMPO LIMITADO	VIBRACION PELIGROSA	
GRUPO 2 (20 - 402 HP)	< 1,4 mm/s RMS	≥1,41 < 2,8 mm/s RMS	≥ 2,81- < 4,5 mm/s RMS	≥ 4,6 mm/s RMS	
GRUPO 1 (403 - 67051 HP)	< 2,3 mm/s RMS	≥ 2,31 < 4,5 mm/s RMS	≥ 4,51- < 7,1 mm/s RMS	≥ 7,2 mm/s RMS	
RESULTADOS					
Componente	Punto de monitoreo	Over All mm/s (RMS)	Condición	Espectro Relevante	
Motor eléctrico	Motor lado libre	Horizontal	2,04	ZONA B	
		Vertical	1,54	ZONA B	
		Axial		ZONA A	
	Motor lado Acople	Horizontal	0,83	ZONA A	
		Vertical	0,76	ZONA A	
		Axial		ZONA A	
					
				Espectro 01. Espectro en relación a fricción por desajuste de rodamiento.	
DIAGNOSTICO					
Motor Eléctrico: Potencia: 3,6 HP Los niveles globales de vibración se encuentran en parámetros de seguimiento para la operación (2.04 mm/s en dirección horizontal, lado libre) de acuerdo con la norma 10816 para este tipo de activos. La velocidad de operación es de 3600 rpm En el análisis espectral se observa la excitación de la 1X RPM de la velocidad de giro acompañado de múltiples armónicos y levantamiento del piso espectral, en relación con soltura mecánica estructural y desajuste de rodamientos. En el análisis en aceleración se observan múltiples armónicos y levantamiento del piso espectral en relación con fricción en los rodamientos por desajuste, ver espectro 01. Temperatura motor: 50.20°C					
TENDENCIA					
UBICACIÓN \ SENTIDO		ABRIL 04/04/2025			
Motor Lado Libre	H	2,04			
	V	1,54			
	A				
Motor Lado Acoplado	H	0,83			
	V	0,76			
	A				
HALLAZGOS TENDECIA No se observan eventos relevantes.					
RECOMENDACIÓN 1. Se recomienda realizar el cambio de rodamientos del motor.					

Nota. Figura correspondiente a informe de análisis de vibraciones equipos rotativos. Tomado de Ingesertec- Ingeniería y Servicios Técnicos S.A.

Como resultado de la ejecución de las rutas de monitoreo de vibraciones y termografía, se elaboraron informes técnicos que documentan el estado operativo de los equipos evaluados. Estos documentos incluyen registros gráficos, diagnósticos, niveles de severidad y recomendaciones técnicas, sirviendo como base para una toma de decisiones proactiva. En la Figura 14; análisis de vibraciones equipos rotativos, donde se detallan los niveles detectados, las condiciones mecánicas encontradas y las acciones sugeridas para mitigar fallas. Este reporte, derivado del recorrido planificado, permite identificar desbalances, desalineaciones o deterioros incipientes en componentes críticos. Su elaboración cumple con los lineamientos técnicos establecidos por Ecopetrol S.A., aportando evidencia clara para priorizar mantenimientos, planificar intervenciones y reforzar la continuidad operativa del sistema bajo una estrategia de mantenimiento basada en condición.

El análisis de vibraciones realizado al equipo corresponde a una bomba centrífuga, se desarrolló bajo los lineamientos establecidos por la norma (ISO 10816. 2014), la cual define criterios de aceptación para la evaluación de la severidad de vibraciones en máquinas rotativas montadas de forma rígida. La norma ISO 10816 clasifica las máquinas por grupos y rangos de potencia. En este caso, el equipo evaluado pertenece al Grupo 2 (máquinas entre 15 y 300 kW / 20 - 402 HP). Esta norma establece cuatro zonas de severidad de vibración, con base en los valores de velocidad efectiva (RMS en mm/s), que permiten determinar el estado operativo del equipo y el nivel de intervención requerido:

Zona A: Condición óptima o de operación sin restricciones.

Zona B: Condición aceptable para operación continua, pero con vigilancia.

Zona C: Condición tolerable solo por tiempo limitado; requiere intervención.

Zona D: Condición inaceptable o peligrosa; se recomienda parada inmediata.

Según el informe técnico presentado por la empresa especializada, el equipo fue evaluado en seis puntos de monitoreo (tres en el motor lado libre y tres en el motor lado acople), en las direcciones horizontal, vertical y axial. Los resultados obtenidos se muestran en la (figura 14).

Estos resultados permiten concluir que la mayoría de los puntos evaluados se encuentran dentro de la Zona A, lo que indica un funcionamiento estable y seguro. No obstante, los valores registrados en los puntos horizontal y vertical del motor lado libre, que se ubican en Zona B, alertan sobre condiciones operativas que, si bien no comprometen la continuidad del servicio, deben ser monitoreadas de forma periódica.

El espectro de frecuencia relevado evidencia un comportamiento característico de fricción o desajuste en rodamientos, lo que justifica la recomendación técnica incluida en el informe: realizar una inspección física detallada del rodamiento en el próximo mantenimiento programado. Desde una perspectiva de ingeniería de mantenimiento, la aplicación de la norma ISO 10816 en este tipo de análisis predictivo no solo permite objetivar el estado técnico de los equipos rotativos, sino que también brinda una base normativa para planificar y priorizar las intervenciones. Esto fortalece el sistema de mantenimiento basado en condición y mejora

significativamente la toma de decisiones orientadas a la confiabilidad operacional y disponibilidad de los activos.

Como parte integral de la estrategia de mantenimiento predictivo implementada en los sistemas de tratamiento de agua potable y residual del Campo Cusiana, se desarrollaron inspecciones termográficas a los tableros de control de los equipos críticos. Estas inspecciones permiten detectar anomalías térmicas que podrían derivar en fallas operativas, tales como contactos débiles, sobrecalentamientos, desequilibrios de carga o pérdidas de aislamiento.

En este contexto, se ejecutó una ruta de inspección termográfica previamente definida, lo cual permitió evaluar las condiciones térmicas reales de los equipos. A continuación, en la Figura 15; informe análisis termográfico, se evidencio las condiciones detectadas y las acciones recomendadas, como parte del cumplimiento técnico del plan de mantenimiento y del proceso de mejora continua.

Figura 16

Informe análisis termográfico

	Ingeniería y servicios técnicos INGESERTEC S.A Nit 830042394 - 8		FO-TZ-047 VERSIÓN: 1 VIGENCIA: 10-02-2025	
	INFORME ANÁLISIS TERMOGRÁFICO			

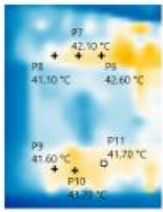
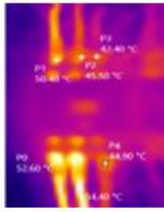
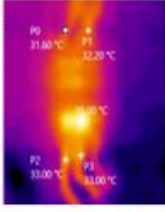
DENOMINACIÓN:	M-7110B	UBICACIÓN TÉCNICA	ECU-PCU15TRA-AGUAPE7104		
EQUIPO:	11198172	TIPO DE EQUIPO	BREAKER - CONTACTOR - BORNERO		
DETALLE INFORME:	RUTA TERMOGRAFIA	CONTRATO	-	CLIENTE	CIAM
FECHA DE MONITOREO:	4/04/2025	Consecutivo Informe	15	ESTADO DE CARGA	-
PT	OT			CONDICION ACTIVO	ALERTA

DATO EQUIPO MONITOREO: Cámara termográfica
Fabricante: FLUKE TI20+MAX

CRITERIO DE ACEPTACION: Deltas recomendados por termógrafos asociados PTA (The Professional Thermographers Association), para equipos eléctricos.

Para efectos de clasificación de fallas se manejan los siguientes criterios, teniendo en cuenta los criterios de la NETA, las condiciones climáticas de la región y los requerimientos del cliente.
 * O/S: Temperatura Over Similar - O/A: Temperatura Over/Ambient

DIFERENCIAL DE TEMPERATURA	CLASIFICACIÓN	CONDICIÓN
1°C - 10°C O/A < 3°C O/S	En buen estado	BUENO
11°C - 20°C O/A y 3°C a 15°C O/S	Probable deficiencia	ACEPTABLE
21°C - 40°C O/A y > 15°C O/S	Deficiencia	INSATISFACTORIA
> 40°C O/A y > 15°C O/S	Deficiencia mayor	PELIGROSA

RESULTADOS																																																																					
BREAKER  <table border="1"> <tr><td>PUNTOS</td><td>43.1</td></tr> <tr><td></td><td>42.1</td></tr> <tr><td></td><td>42.6</td></tr> <tr><td></td><td>43.6</td></tr> <tr><td></td><td>33.2</td></tr> <tr><td></td><td>43.7</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>TEM AMB</td><td>29</td></tr> <tr><td>DELTA O/A</td><td>14.2</td></tr> <tr><td>DELA O/S</td><td>2.1</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>CLASIFICACION</td><td>PROBABLE DEFICIENCIA</td></tr> <tr><td>CONDICION</td><td>BUENO</td></tr> </table>		PUNTOS	43.1		42.1		42.6		43.6		33.2		43.7	TEM AMB	29	DELTA O/A	14.2	DELA O/S	2.1	CLASIFICACION	PROBABLE DEFICIENCIA	CONDICION	BUENO	CONTACTOR  <table border="1"> <tr><td>PUNTOS</td><td>50.4</td></tr> <tr><td></td><td>45.5</td></tr> <tr><td></td><td>42.4</td></tr> <tr><td></td><td>42.6</td></tr> <tr><td></td><td>54.4</td></tr> <tr><td></td><td>44.9</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>TEM AMB</td><td>29</td></tr> <tr><td>DELTA O/A</td><td>25.4</td></tr> <tr><td>DELA O/S</td><td>32</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>CLASIFICACION</td><td>DEFICIENTE</td></tr> <tr><td>CONDICION</td><td>ACEPTABLE</td></tr> </table>		PUNTOS	50.4		45.5		42.4		42.6		54.4		44.9	TEM AMB	29	DELTA O/A	25.4	DELA O/S	32	CLASIFICACION	DEFICIENTE	CONDICION	ACEPTABLE	BORNERO  <table border="1"> <tr><td>PUNTOS</td><td>31.6</td></tr> <tr><td></td><td>32.2</td></tr> <tr><td></td><td>33</td></tr> <tr><td></td><td>35</td></tr> <tr><td></td><td>33</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>TEM AMB</td><td>29</td></tr> <tr><td>DELTA O/A</td><td>6</td></tr> <tr><td>DELA O/S</td><td>3.4</td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>CLASIFICACION</td><td>EN BUEN ESTADO</td></tr> <tr><td>CONDICION</td><td>ACEPTABLE</td></tr> </table>		PUNTOS	31.6		32.2		33		35		33	TEM AMB	29	DELTA O/A	6	DELA O/S	3.4	CLASIFICACION	EN BUEN ESTADO	CONDICION	ACEPTABLE
PUNTOS	43.1																																																																				
	42.1																																																																				
	42.6																																																																				
	43.6																																																																				
	33.2																																																																				
	43.7																																																																				
TEM AMB	29																																																																				
DELTA O/A	14.2																																																																				
DELA O/S	2.1																																																																				
CLASIFICACION	PROBABLE DEFICIENCIA																																																																				
CONDICION	BUENO																																																																				
PUNTOS	50.4																																																																				
	45.5																																																																				
	42.4																																																																				
	42.6																																																																				
	54.4																																																																				
	44.9																																																																				
TEM AMB	29																																																																				
DELTA O/A	25.4																																																																				
DELA O/S	32																																																																				
CLASIFICACION	DEFICIENTE																																																																				
CONDICION	ACEPTABLE																																																																				
PUNTOS	31.6																																																																				
	32.2																																																																				
	33																																																																				
	35																																																																				
	33																																																																				
TEM AMB	29																																																																				
DELTA O/A	6																																																																				
DELA O/S	3.4																																																																				
CLASIFICACION	EN BUEN ESTADO																																																																				
CONDICION	ACEPTABLE																																																																				

DIAGNÓSTICO

BREAKER
 Temperatura máxima de 43.20°C sobre la conexión de salida, el cual presenta un delta de 2.1°C en comparación con las entradas y salidas. De acuerdo con el delta de temperatura la condición es buena.

CONTACTOR
 Temperatura máxima de 54.4°C sobre la conexión de salida, el cual presenta un delta de 12°C en comparación con las entradas y salidas. De acuerdo con el delta de temperatura la condición es aceptable deficiencia.

BORNERO
 Temperatura máxima de 35°C sobre el cuerpo del bornero, el cual presenta un delta de 3.4°C en comparación con las entradas y salidas. De acuerdo con el delta de temperatura la condición es aceptable.

RECOMENDACIÓN
 se recomienda realizar.
 1. Limpieza de conexiones de conectores, asegurar el buen estado de terminales de conexión además de verificar el torque y apriete.

Nota. Figura correspondiente a informe análisis termográfico. Tomado de Ingesertec- Ingeniería y Servicios Técnicos S.A.

El análisis termográfico realizado incluyó la evaluación de tres componentes eléctricos: breaker, contactor y bornero, como parte de la ruta de inspección del sistema eléctrico del Campo Cusiana. Este análisis se desarrolló bajo los lineamientos técnicos de la PTA (The Professional Thermographers Association), organización que establece criterios reconocidos para clasificar los niveles de severidad en sistemas eléctricos, con base en los diferenciales de temperatura detectados. Un $q_{cr} \leq \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{SD}$ se clasifica como aceptable, $\Delta T_{SD} < \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{W}$ como condición inaceptable (zona naranja) y $\Delta T_{W} < \Delta T_{cr}$ como condición crítica (zona roja). Los componentes similares se clasifican de la siguiente manera:

1 43 F $\Delta T_{cr} \leq \Delta T_{SD}$ $\Delta T_{SD} < \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{W}$

11 53 F $\Delta T_{cr} \leq \Delta T_{SD}$ $\Delta T_{SD} < \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{W}$

21 73 F Condición inaceptable (zona naranja)

A73 F $\Delta T_{cr} \leq \Delta T_{SD}$ $\Delta T_{SD} < \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{W}$

El bornero y el breaker presentan un comportamiento térmico aceptable, con deltas $\Delta T_{cr} \leq \Delta T_{SD}$. El contactor presenta un comportamiento térmico inaceptable, con deltas $\Delta T_{SD} < \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{W}$, evidencias de deterioro térmico crítico, aunque en el caso del breaker se recomienda verificar el ajuste de conexiones para evitar una progresión térmica.

El bornero y el breaker presentan un comportamiento térmico aceptable, con deltas $\Delta T_{cr} \leq \Delta T_{SD}$. El contactor presenta un comportamiento térmico inaceptable, con deltas $\Delta T_{SD} < \Delta T_{cr} \leq \Delta T_{W}$, evidencias de deterioro térmico crítico, aunque en el caso del breaker se recomienda verificar el ajuste de conexiones para evitar una progresión térmica. No obstante, al observar el valor absoluto de

wp s hudwud#8717 F,# #x#r fdd dfl q#re u#dv#frqh l r qhv#gh#hqw dgd2ddgd/#h#fr qvlgud# xh#

este componente opera en una condición térmica deficiente y potencialmente riesgosa, particularmente bajo carga continua. Esta elevación térmica podría ser consecuencia de un mal contacto, sobrecarga, envejecimiento de los materiales aislantes o acumulación de suciedad, lo que demanda una intervención inmediata para inspección, ajuste o posible reemplazo.

Desde el punto de vista de la ingeniería de mantenimiento predictivo, este tipo de hallazgos permite detectar fallas incipientes antes de que escalen a eventos críticos, evitando paradas no programadas, riesgos eléctricos y afectación al sistema de tratamiento de agua. Además, el cumplimiento de este protocolo aporta evidencia objetiva para la toma de decisiones técnicas alineadas al plan de calidad del proyecto.

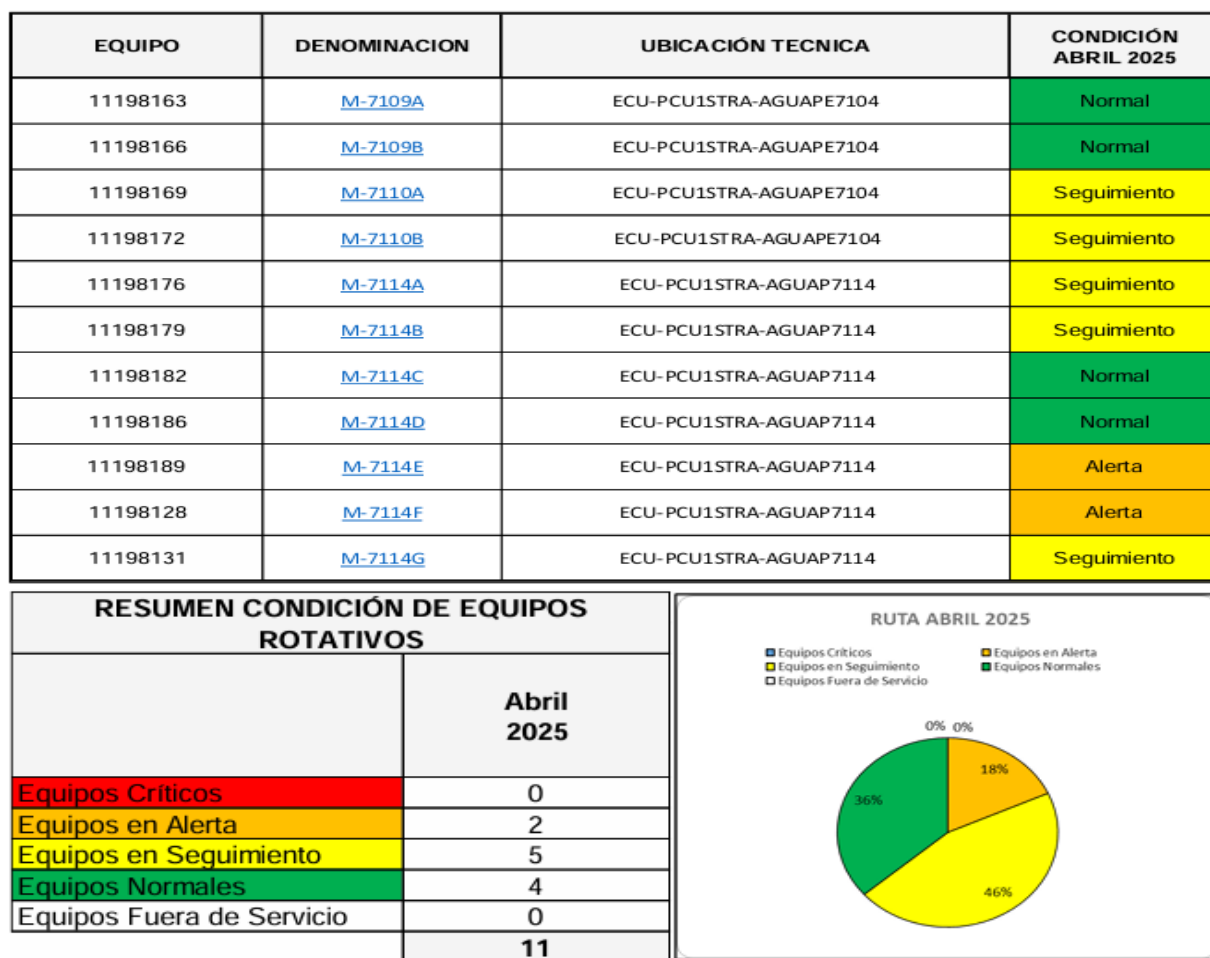
Con el fin de consolidar la información obtenida en los análisis predictivos realizados mediante monitoreo de vibraciones y termografía, se elaboraron los resúmenes de condición de los equipos intervenidos. Estos resúmenes permiten visualizar de manera clara y sintética el estado técnico de cada equipo y componente evaluado, facilitando la priorización de acciones correctivas, la gestión de mantenimiento basada en condición y el seguimiento al cumplimiento del plan de calidad exigido por Ecopetrol S.A.

La consolidación de esta información responde a criterios normativos establecidos por la (ISO 10816), para vibraciones mecánicas y la (PTA Professional Thermographers Association), para análisis termográficos, garantizando el rigor técnico en el diagnóstico de condiciones anómalas. En la Figura 16; Resumen condición de equipos rotativos, se identifican

los niveles de severidad encontrados en los distintos puntos de monitoreo. Por su parte, la Figura 17; Resumen de condición termográfica, que permite observar el comportamiento térmico de componentes eléctricos críticos como breakers, contactores y borneros.

Figura 17

Condición de equipos rotativos



Nota. Figura correspondiente a condición de equipos rotativos. Fuente: Ingesertec- Ingeniería y Servicios Técnicos S.A.

A partir del análisis de vibraciones ejecutado y consolidado en el Resumen de Condición de Equipos Rotativos (Figura 16) se logró:

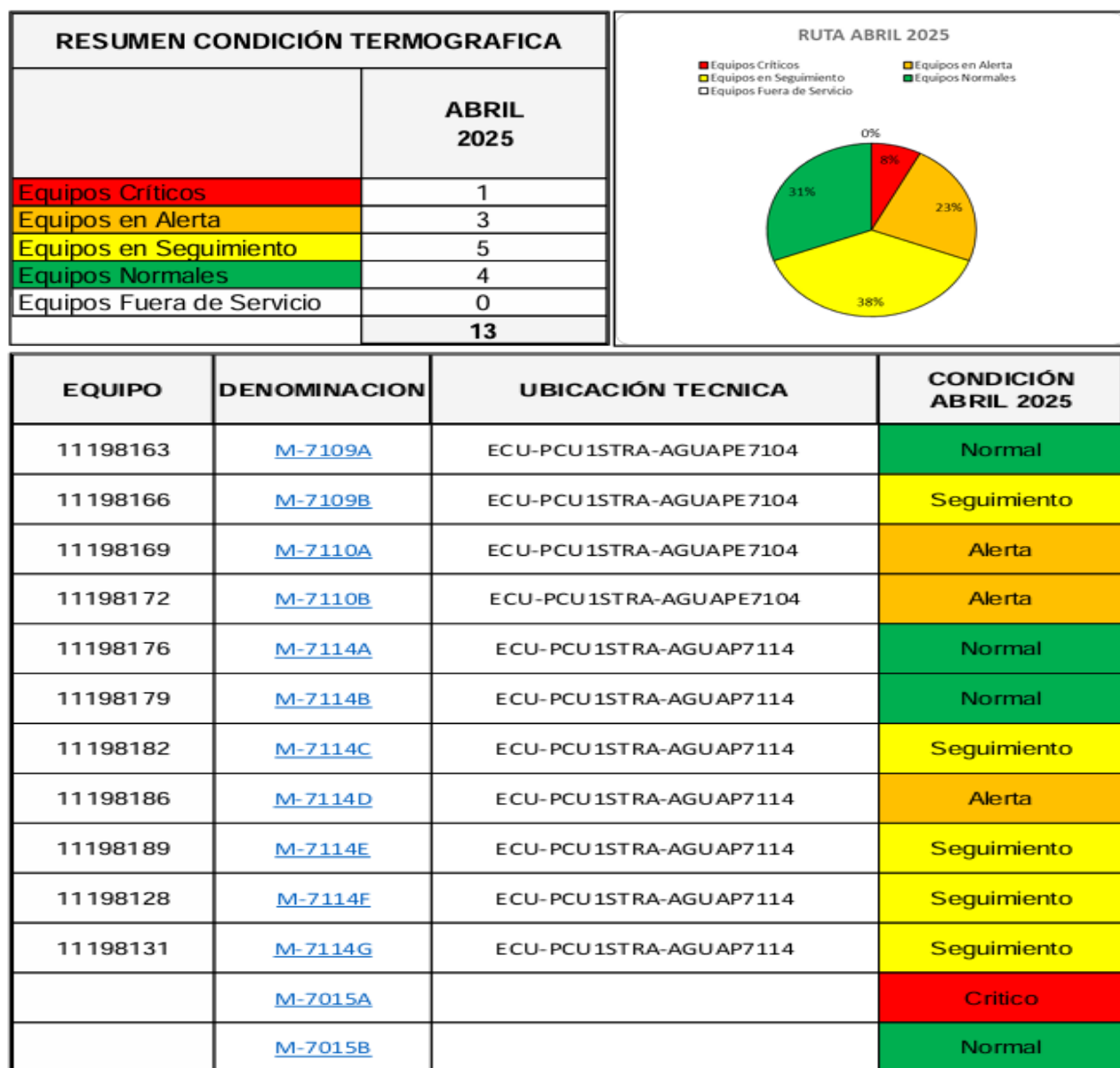
Diagnosticar el estado dinámico de los equipos mediante niveles RMS de vibración evaluados.

Clasificar los equipos según niveles de severidad, permitiendo establecer prioridades para intervención correctiva.

Detectar condiciones de alerta temprana como desalineación, desbalance o desajustes mecánicos, que aún no habían generado una falla funcional, lo que permitió planificar acciones preventivas antes de un deterioro mayor.

Integrar los hallazgos al plan de mantenimiento basado en condición, alineado con las estrategias de confiabilidad operacional definidas por Ecopetrol S.A.

Fortalecer la toma de decisiones con evidencia técnica objetiva, aumentando la confiabilidad del sistema de tratamiento de agua potable y residual en el Campo Cusiana.

Figura 18*Resumen condición termográfica*

Nota. Figura correspondiente a resumen condición termográfica. Tomado de Ingesertec-

Ingeniería y Servicios Técnicos S.A.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el Resumen de Condición Termográfica, (Figura 17), se alcanzaron los siguientes logros:

Identificar puntos calientes y anormalidades térmicas en componentes eléctricos como breakers, contactores y tableros de control, según los criterios de aceptación.

Evaluar la eficiencia operativa de los elementos eléctricos mediante comparaciones térmicas que permitieron detectar conexiones flojas, sobrecargas o desgaste interno.

Clasificar visualmente los equipos en condición aceptable, en observación o en condición crítica, permitiendo tomar decisiones técnicas sobre cambios, ajustes o mantenimiento correctivo inmediato.

Documentar la evidencia mediante imágenes térmicas y reportes analíticos, garantizando la trazabilidad y el cumplimiento del plan de calidad establecido.

4. Diagnóstico final

De acuerdo con lo señalado, durante la pasantía en CIAM S.A.S BIC, la meta principal fue ayudar a poner en marcha el plan de calidad para la revisión y las pruebas en el mantenimiento de bombas, sistemas electricos e instrumentos del sistema que trata el agua potable y usada del Campo Cusiana de Ecopetrol S.A, siguiendo siempre la norma ISO 10005, y en efecto, este trabajo fue un reto grande en lo técnico y en cómo se organizaban las cosas, por los altos niveles de calidad que pedía el cliente y porque se necesitaba encontrar formas de ir mejorando siempre, viendo todo desde la ingeniería de mantenimiento.

En un primer momento, se hizo una revisión a fondo de qué tanto se cumplían los requisitos técnicos y del contrato que había puesto Ecopetrol, a razón de esto, se encontraron cosas buenas como que los perfiles de los técnicos casi siempre se cumplían y que el equipo de trabajo ya sabía cómo operar, pero también se hallaron problemas que tenían que ver con la falta de algunos cursos o capacitaciones puntuales, como por ejemplo los de SAES, MASE, trabajos con tensión y primeros auxilios, y estas faltas afectaron sin rodeos los tiempos en que se hacían los mantenimientos y la calidad de los papeles técnicos que se generaban.

En segunda instancia, se pasó a revisar el estado en que estaban funcionando los equipos del sistema, y para esto se recogió información técnica y se aplicó un análisis para ver qué era más importante o crítico, de modo que este análisis sirvió para poner en orden los equipos según el impacto que tenían en la operación, qué tan seguido fallaban y las consecuencias de esas fallas, haciendo así más fácil tomar decisiones sobre cuáles eran las prioridades para meterles

mano y qué forma de mantenimiento usar, puesto que usar esta manera de organizar le dio mucha solidez al trabajo de ingeniería de mantenimiento, usando un criterio basado en los riesgos y en qué tan confiables eran las cosas.

Posteriormente, se encontraron otros puntos importantes que se ordenaron en un cuadro de riesgos y oportunidades, y entre lo principal, se notó que hacía falta hacer más fuerte la planeación de la logística para capacitar a la gente, como también poner un solo modelo para los formatos de mantenimiento y de inspección, y mejorar la forma en que las diferentes áreas se comunicaban para la operación, de ahí que estas oportunidades para mejorar se trabajaron con un plan de acción claro y que se podía hacer, el cual tenía medidas para prevenir y para corregir, siguiendo las normas de Ecopetrol.

Ya en la fase de análisis del plan de calidad, inspección y ensayo, se le hizo una revisión técnica al formato que se usaba para los reportes de mantenimiento, y a partir de ese estudio, se planteó un plan de mejora que buscaba diferenciar los tipos de inspección, que se pudiera seguir mejor el rastro de los apuntes y asegurar que la información que se anotaba fuera bien clara, por otro lado, se metieron formas de hacer seguimiento como un registro de las tareas planeadas y las que se hacían, y también un formato para evaluar qué tan bien se le cumplía al cliente, lo que sirvió para medir si estaba satisfecho mirando la calidad y si se entregaba a tiempo.

En definitiva, una de las ayudas técnicas más grandes fue juntar formas de trabajo de mantenimiento predictivo usando el análisis de vibraciones y la termografía, ya que estas maneras de trabajar sirvieron para meterles mano a los equipos usando un enfoque basado en su

condición real, sacando datos con números sobre el estado en que se encontraban los equipos. Los informes técnicos generados permitieron evidenciar fallas incipientes, especialmente en componentes críticos como contactores eléctricos y bombas, bajo criterios de aceptación de normas como ISO 10816 y los lineamientos de la Professional Thermographers Association (PTA).

Como parte del sistema de gestión, se aplicó el ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) como metodología de mejora continua. Este enfoque permitió planificar las actividades de mantenimiento con base en criterios de calidad y seguridad, ejecutar las intervenciones conforme a lo definido, verificar mediante registros e inspecciones el cumplimiento de los resultados, y actuar con medidas correctivas y lecciones aprendidas. Este ciclo fue clave para garantizar la coherencia técnica del plan de mantenimiento con los objetivos contractuales de Ecopetrol.

En definitiva, se pudieron juntar un montón de pruebas técnicas, papeles de registro y planes para mejorar, de modo que todo esto hace más fuerte la capacidad operativa y técnica de CIAM S.A.S BIC, ya que este trabajo no solo ayudó a que se cumplieran las tareas que estaban planeadas, sino que también sirvió de piso para armar un sistema de mantenimiento que fuera más de fiar, al que se le pudiera seguir bien el rastro, y que fuera de la mano con la cultura de calidad y seguridad que se pide en el mundo de los hidrocarburos.

5. Conclusiones

En primer lugar, se pudo ver y estudiar qué tanto se cumplían los perfiles técnicos que pedía Ecopetrol, y se encontró que el 83 % de la gente que se revisó cumplía con lo que se pedía de estudio y experiencia, mientras que el otro 17 % tenía pequeños problemas con algunos cursos puntuales, y con esta revisión se pudo armar un plan para corregir esas faltas, poniendo más de acuerdo los perfiles de la gente con lo que pedía el cliente en el contrato.

Por otro lado, se estructuraron formas de trabajo fuertes para asegurar que se cumplieran las normas de calidad y seguridad, y esto se hizo armando y poniendo a funcionar formatos para seguir la operación, para ver si el cliente estaba satisfecho y para hacer los reportes técnicos, por esto el 100 % de los trabajos que se planearon en el sistema de tratamiento de agua quedaron bien anotados, incluyendo los apuntes para predecir fallas como la termografía y las vibraciones y también los informes técnicos que mostraban una forma de trabajar adelantada para manejar el mantenimiento.

De este modo, se revisó de verdad cómo se puso en marcha y se controló el plan de calidad, de inspección y de ensayo, a través de un proceso ordenado para coordinar los trabajos, hacer vigilancia técnica y sacar los informes de gestión, por lo cual el rastro de los mantenimientos que se hicieron, tanto los para prevenir como los para predecir y corregir daños, quedó anotado en formatos de operación y en fotos, de ahí que se hizo más fácil tomar decisiones a tiempo y con buenas bases.

6. Recomendaciones

Como resultado de haber puesto en marcha el plan de calidad, inspección y ensayo en el sistema de tratamiento de agua potable y usada del Campo Cusiana, se evidenciaron oportunidades claras para mejorar los procesos de mantenimiento, tanto los que se hacen para prevenir como los que se hacen para predecir fallas, por esto, a continuación se presenta una serie de consejos técnicos bien pensados que buscan asegurar que los equipos sean de fiar, que se pueda seguir el rastro de los trabajos hechos y que se cumpla con las normas que pide Ecopetrol S.A.

En primer lugar, se ve que hace falta armar un programa para formar y validar técnicamente a la gente de manera continua, a causa de los problemas que se encontraron en certificados que son obligatorios como los de trabajos con tensión o TCT, MASE, SAES y primeros auxilios, ya que esta falta molestó directamente para que las inspecciones técnicas se hicieran a tiempo, por lo cual se aconseja planear cada seis meses las capacitaciones obligatorias, que vayan de la mano con lo que pide el cliente en el contrato.

Por otra parte, es necesario mejorar la planeación de los mantenimientos que se hacen para prevenir, haciéndolos con tiempo antes de que se venzan los plazos que se tienen, puesto que esto ayudará a que no haya desvíos en el cronograma general de mantenimiento y a que no se formen trancones en la operación, en ese sentido, se aconseja que los trabajos más importantes se programen por lo menos con 15 días de adelanto.

En cuanto al mantenimiento de los equipos de bombeo y componentes eléctricos, se aconseja hacer más fuerte el plan de limpieza y desinfección de los tanques cada cierto tiempo, debido a que algunos componentes como el tanque TQ-104006 y el TK-7106 mostraron que tenían sedimentos amontonados, de modo que este trabajo debe meterse como una tarea para prevenir que se haga cada dos meses.

Respecto al mantenimiento para predecir fallas, los resultados que se sacaron con la termografía y el análisis de vibraciones muestran lo importante que es tener un proceso ordenado para hacerle seguimiento a los equipos según su condición, en particular, se aconseja empezar a hacer una evaluación que compare las tendencias, para así poder vigilar el desgaste poco a poco de las partes mecánicas y eléctricas, y con esto se hace más fuerte la idea de adelantarse a los problemas.

De ahí que, se encontraron también problemas de temperatura en los contactores de electricidad, pasándose de los rangos que aconseja la Professional Thermographers Asociación o PTA, y esto pone en riesgo la integridad de todo el sistema, por lo cual se aconseja hacer un arreglo de una vez a estas partes, ya sea apretándolas, limpiándolas o de plano cambiándolas.

Otra recomendación clave es la implementación de un sistema robusto de inventario técnico, enfocado en la gestión de repuestos críticos. Mantener actualizado este inventario reducirá tiempos de inactividad por falta de componentes, garantizando la disponibilidad oportuna para correctivos no programados.

En equipos inactivos como la bomba M-7114A o el soplador K-7101, se propone establecer un protocolo de Re-inspección técnica mensual, con el fin de definir su viabilidad de recuperación o descarte, documentando la condición actual y generando recomendaciones sustentadas.

Finalmente, se recomienda robustecer los protocolos de documentación técnica, haciendo obligatoria la inclusión de evidencia fotográfica y observaciones técnicas detalladas en cada intervención, a través del diligenciamiento completo del formato MEJ WP-R 037. Esta acción fortalecerá la trazabilidad, facilitará auditorías y contribuirá a la mejora continua del sistema de mantenimiento implementado.

Estas recomendaciones, sustentadas en hallazgos reales, están orientadas a mejorar la confiabilidad de los activos, reducir riesgos operativos y alinear la gestión del mantenimiento con las buenas prácticas de la ingeniería industrial aplicada al sector de hidrocarburos.

Referencias

- Almanza, J. J. (2022). Oportunidades de mejora en la planeación del mantenimiento mayor en plantas de refinación de crudo. *Revista Ontare-*, 10, 1-30.
https://www.metarevistas.org/Record/metarevistapublica_ean_revistaontare_54_article_3579
- Báez, L. (2011). *La inversión social en el sector petrolero colombiano*. Colombia: Editorial Académica Española.
- Cano, D. (2025). *Tendencias tecnológicas de inspección enfocadas en la industria petrolera*. [Trabajo de grado, UNAD] Repositorio institucional:
<https://repository.unad.edu.co/handle/10596/67458>
- CIAM S.A.S. (s.f.). CIAM. Información empresarial: <https://ciam.com.co/>
- Congreso de la República de Colombia. (1993). *Ley 99 de 1993. Diario Oficial No. 41.146 de 22 de diciembre de 1993*. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente:
http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html
- Congreso de la República de Colombia. (2012). *Ley 1562 de 2012*. Por la cual se modifica el sistema de riesgos laborales y se dictan otras disposiciones en materia de salud ocupacional: <http://minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Ley-1562-de-2012.pdf>
- Ecopetrol S.A. (2015). *Informe consolidado de auditoría gubernamental con enfoque integral modalidad especial vigencia 2015*. Contraloría General de la República:
<https://www.ecopetrol.com.co/wps/wcm/connect/6b9b1090-9c7e-42cd-822f->

b654aed330fb/1.+Informe+Consolidado+de+Auditor%C3%ADa+Gubernamental+2015.
pdf?MOD=AJPERES&attachment=false&id=1658238499053

Graisa, M., & Alhabaibeh, A. (2011). An investigation into current production challenges facing the Libyan cement industry and the need for innovative total productive maintenance (TPM) strategy. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 22(4), 541–558.
doi: <https://doi.org/10.1108/17410381111126445>

Lancho, E. (2008). *Mantenimiento predictivo de equipos e instalaciones eléctricas mediante termografía*. [Trabajo de grado, ingeniería eléctrica, universidad nacional del Perú]
Repositorio institucional: <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3527>

Meza, E., & Velásquez, D. (2024). *Plan de gestión de mantenimiento basado en la criticidad y fallas de equipos para el Área de Molienda de una empresa minera en el centro del Perú, 2023*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Mecánico, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Mecánica, Universidad Continental, Huancayo, Perú]
Repositorio Continental:
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/14732>

Ministerio de minas y energía. (2024). *Resolución 40117 de 2024*. Por la cual se modifica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE:
https://www.minenergia.gov.co/documents/11563/Resoluci%C3%B3n_40117_de_2024.pdf

Ministerio de Minas y Energía de Colombia. (2024). *Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE*.
https://www.minenergia.gov.co/documents/11563/Resoluci%C3%B3n_40117_de_2024.pdf

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2020). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS*.

<https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-reglamento-tecnico-sector-reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>

Ministerio del Trabajo. (2017). *Resolución 1111 de 2017*. Define los Estándares Mínimos del Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SG-SST) para empleadores y contratantes:

<https://www.mintrabajo.gov.co/documents/20147/647970/Resoluci%C3%B3n+1111-+est%C3%A1ndares+minimos-marzo+27.pdf>

Montilla, C. (2019). *Mantenimiento industrial y su administración*. Colombia: Colección Textos Académicos. <http://core.ac.uk/download/288157713.pdf>

Mora, A. (2009). *Mantenimiento: Planeación, Ejecución y control*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. <https://elvisjgblog.wordpress.com/wp-content/uploads/2019/11/mantenimiento-planeacion-ejecucion-y-control-alberto-mora-gutierrez.pdf>

Moyona, F., & Villamil, D. (2021). Análisis del ciclo PHVA en la gestión de proyectos, una revisión documental. *Revista Politécnica*, 17(34), 55-69. doi: <https://doi.org/10.33571/rpolitec.v17n34a4>

Muñoz, G., & Salazar, D. (2021). La calidad como herramienta estratégica para la gestión. *Podium*, 39, 19-36. doi: <http://dx.doi.org/10.31095/podium.202>

Organización Internacional de Normalización. (2014). *ISO 55000- Gestión de Activos*. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:55000:ed-1:v2:es>

Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental: requisitos con orientación para su uso:*

<https://www.iso.org/standard/60857.html>

Organización Internacional de Normalización. (2015). *ISO 14001:2015. Sistemas de gestión ambiental* : <https://www.iso.org/es/norma/14001>

Organización Internacional de Normalización. (2018). *ISO 45001:2018 Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo.* <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:45001:ed-1:v1:es>

Organización Internacional de Normalización. (2018). *Directrices para los Planes de Calidad según ISO 10005 2018.* <https://www.isotools.us/2021/07/15/directrices-para-los-planes-de-calidad-segun-iso-10005-2018/>

Palomino, A., & Tokumori, M. (2020). *Propuesta para mejorar la disponibilidad de equipos en el sector construcción para una empresa de alquiler de máquinas pesadas.* [Trabajo de grado para optar el título de ingeniero industrial, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)] Repositorio UPC:
https://upc.aws.openrepository.com/bitstream/handle/10757/653444/Palomino_VA.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Solís, M., & Torres, R. (2021). Contribuciones del TPM en la mejora de la gestión del mantenimiento. *Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología E Investigación*, 4(8), 58-78. <https://journalingeniar.org/index.php/ingeniar/article/view/65>

Valbuena, D. F. (2015). *Caso Ecopetrol: análisis de la transformación de una empresa estatal a una empresa de economía mixta.* <https://www.fumc.edu.co/wp-content/uploads/publicaciones/casoecopetrol.pdf>

- Vera, J. (2012). Conflictividades socio-territoriales en la Orinoquía colombiana. *Semilleros de Investigación Jurídica y Sociojurídica*, 2, 95-120.
- Vidal, G., & Herrera, J. (2016). Modelo de referencia operacional aplicado a una empresa de servicios de mantenimiento. *Revista Venezolana de Gerencia*, 21(75), 549-571.
<https://www.redalyc.org/pdf/290/29048812011.pdf>
- Yáñez, R. (2008). *Sistemas de gestión de la calidad: ISO 9001:2008*. AENOR Ediciones.